الجمهورية العربية السورية
وزارة التربية
المركز الوطني لتطوير المناهج التربوية

الفيزياء

الصف الثَّالث الثَّانوي العلمي

طُبع لأول مرة في العام الدراسي: 2019 – 2020م

تأليف
فئة من المختصّين

المقدمة

نقدّم للمتعلّمين الأعزّاء كتاب الفيزياء المبنيّ وفق الإطار العام للمنهاج الوطني ووثيقة المعايير الوطنيّة المطوّرة، والّتي تهدف إلى مواكبة التطوّرات الحاليّة، وتقديم منهاج قائم على البحث العلمي والتجريب يلبّي آمال المتعلّمين من جهةٍ، ومتطلّبات سوق العمل والمجتمع المحلّي من جهةٍ أخرى.

يشهد العالم ثورةً معرفيّةً يرافقها تسارعٌ في إنتاج المعرفة وانتشارها وتطوّر التّقانات المستخدمة إضافةً إلى سرعة التغيّرات في مجالات الحياة كلّها.

لذلك وجب ربط المنهاج بالحياة اليوميّة للمتعلّم وبيئته، ومواكبة المستجدّات العلميّة والتّقنيّة الّتي سيكون لها الأثر الفعّال في تنمية شخصية المتعلّم من النّاحيتين الفكريّة والجسديّة، وهذا ما يسمح له بالتكامل مع متطلّبات الحياة المعاصرة، والمساهمة في التّنمية الوطنيّة المستدامة.

يخاطب المحتوى العلمي المتعلّم بوصفه محور العمليّة التّربويّة، ويشجّعه على التّعلم الذّاتي، حيث صيغت موضوعات الكتاب بأسلوب علمي مبسّط وواضح لتناسب النّمو العقلي والعمري للمتعلّم وتثير دافعيته. كما يرتكز المحتوى على المعارف والمهارات بعيداً عن الحشو والتّكرار، ويمكّن المتعلّم من مواجهة المشكلات الّتي يتعرّض لها في حياته اليوميّة، وإيجاد الأساليب المناسبة لحلّها، وكذلك يحفز المتعلّم على اكتساب مهارات التَواصل والتّفكير والبحث والاستنتاج بدلاً من تلقّي المعلومات وحفظها واستظهارها، كما يؤكّد المحتوى على دور المعلّم بوصفه موجّهاً للمناقشة، وميسّراً للعلم والعمل.
وكلّنا أملٌ وثقة أن يحقّق زملاؤنا المعلّمون ما نصبو إليه.

فريق التّأليف

الفهرس

الوحدة الأولى: الحركة والتحريك

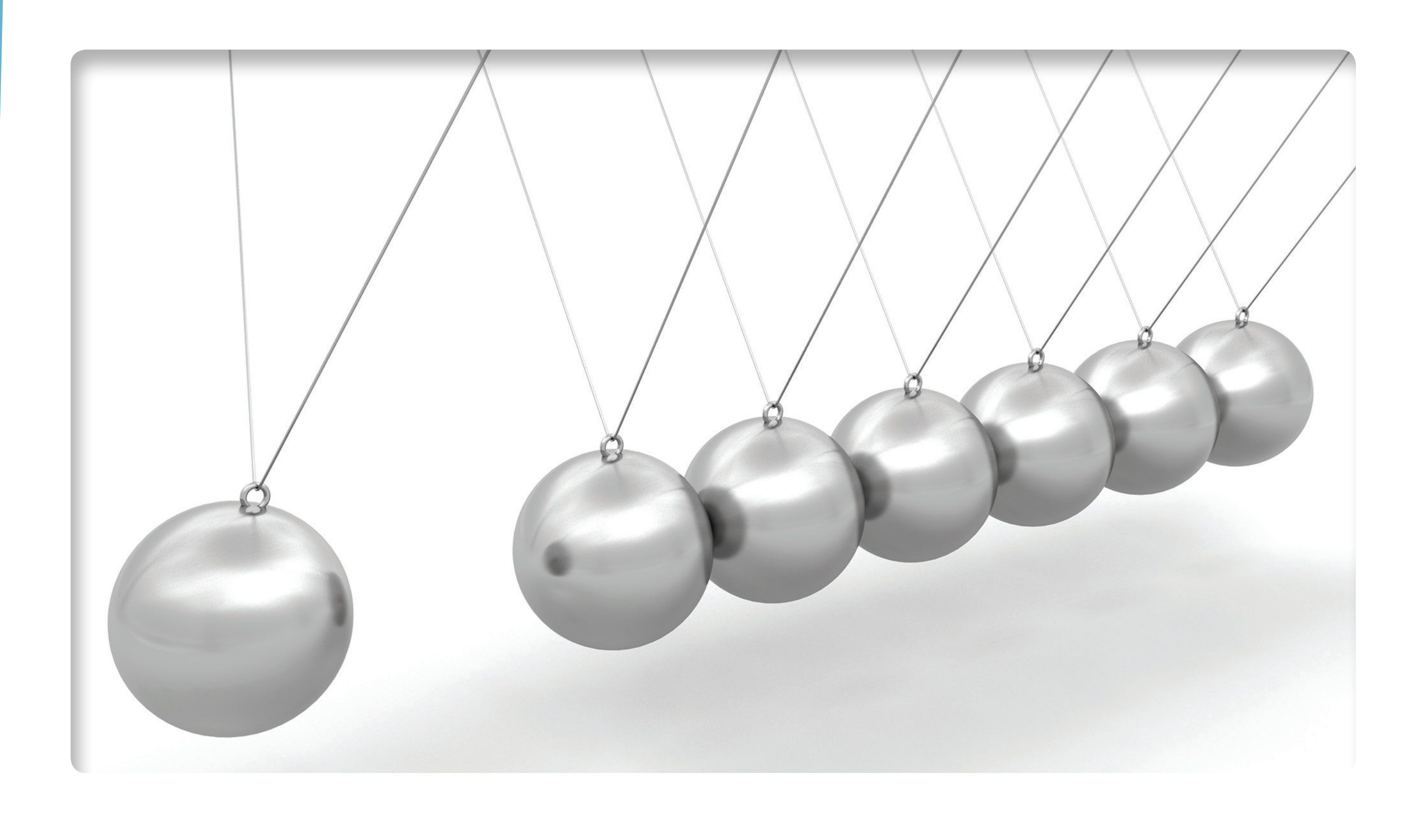
الوحدة الثانية: الكهرباءُ والمغناطيسيّة

الوحدة الثالثة: الأمواجُ المُستقِرَّة

الوحدة الرابعة: الإلكترونيّاتُ والجسمُ الصّلبُ

الوحدة الخامسة: الفيزياء الفلكية

الوحدة الأولى
الحركة والتحريك



تجلسُ في مقعد بالباص بعدَ تشغيل المحرّك فتشعر بالمقعدِ يهتزُ اهتزازات قد تكون طفيفة أو شديدة (حسب حداثة الباص)، وعند تشغيل بعض الأدوات الكهربائية تنشأ اهتزازات فيها يدلّ عليها الصوت أحياناً، ورؤية بعض أجزاء الآلة تهتز أحياناً أخرى، ومن المعروف أنّ الأصوات تنشأ من اهتزاز الأجسام، وأبرز الأمثلة اهتزاز أوتار الكمان أو العود أو غيرها. ولو تأملنا قليلاً نجد أنّ الاهتزازات في الطبيعة كثيرة، وتكاد ترافق مختلف الأنشطة التي نقوم بها.
سنتعرّف أبسط أنواع الاهتزازات وهي الحركة التوافقية.

1 الحركةُ التوافقيّةُ البسيطةُ



تعتمدُ الكثيرُ من الآلات الصناعيّة في عملها على تطبيقِ بعضِ المبادئ الفيزيائيّة كالحركةِ التوافقيّةِ البسيطة.



الأهداف:

* يتعرّفُ الحركة التوافقيّة البسيطة.
* يربطُ بينَ الحركة الدائريّة المنتظمة والحركة التوافقيّة البسيطة.
* يتعرّفُ توابعَ الحركة التوافقيّة البسيطة.
* يوضّحُ بيانيّاً توابعَ الحركة التوافقيّة البسيطة.
* يستنتجُ علاقة الطاقة الميكانيكيّة في الحركة التوافقيّة البسيطة.
* يتعرّفُ التطبيقاتِ الحياتيّةَ للحركة التوافقيّة البسيطة.
* يعطي أمثلةً من حياته اليوميّة للحركةِ التوافقيّةِ البسيطة.

الكلمات المفتاحية:

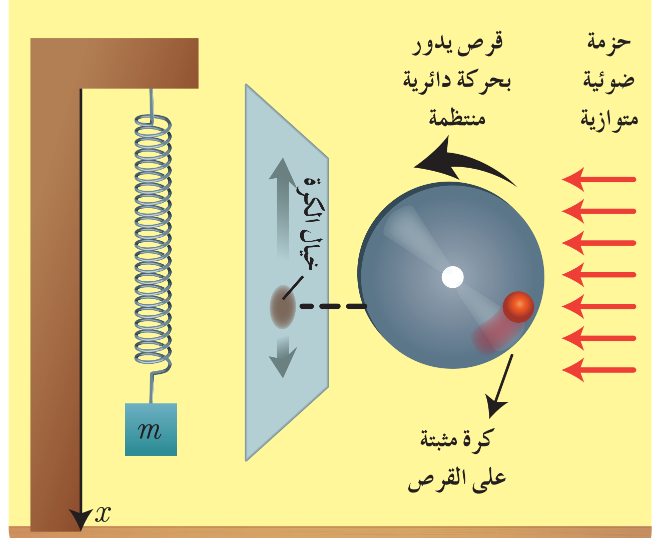
* نابض
* قوّة الإرجاع
* المطال
* السّعة
* الدّور
* التواتر
* الطاقة الكامنة المرونيّة
* الطاقة الحركيّة
* الطاقة الميكانيكيّة

نشاط (1):

يوضّحُ الشكلُ المجاورُ منشاراً لقطعِ المعادن يعملُ آليّاً بوساطةِ وصلهِ بمحرّكٍ كهربائيٍّ يدورُ بسرعةٍ زاويّةٍ ثابتةٍ.

1. ما شكلُ مسار حركة النقطة B من البكرة؟
2. ما شكلُ مسار حركة النقطة A من المنشار؟
3. باتّجاهٍ واحدٍ حركةُ النقطة A أم باتجاهين متعا كسين ؟

نشاط (2):



1. أُثبّتُ كرةً صغيرةً بالقربِ من محيط قرصٍ قابلٍ للدوران حول محورٍ كما في الشكل.
2. أُسلّط حزمةً ضوئيّةً أفقيّاً ليتشكّلَ خيالٌ للكرة في مستوٍ شاقوليٍّ.
3. أُديرُ القرصَ بسرعةٍ زاويّةٍ ثابتةٍ بوساطةِ محرّكٍ كهربائيّ.
4. أصفُ حركةَ خيال الكرة على المستوي الشاقوليّ.
5. أقارنُ حركةَ الخيال بحركة جسم معلّقٍ بنابضٍ شاقوليّ.



أستنتج

حركةُ الخيالِ هي حركةٌ اهتزازيّةٌ إلى جانبَي نقطةٍ ثابتةٍ تُسمّى مركزَ الاهتزاز.

نشاط (3):

أتركُ كرةً معدنيّةً صغيرةً دونَ سرعةٍ ابتدائيّةٍ على طرفِ وعاءٍ دائري أملسٍ مُقعّرٍ كما هو موضّحٌ في الشكل:

1. هل تتحرّكُ الكرةُ باتّجاه واحدٍ مقارنةً بالنقطة A ؟
2. ماذا تمثّلُ النقطةُ A مقارنةً بحركة الكرة؟
3. هل سرعةُ الكرة ثابتةٌ وهي تتحرّك؟
4. في أيِّ موضعٍ تنعدمُ سرعةُ الكرة؟

نتيجة:

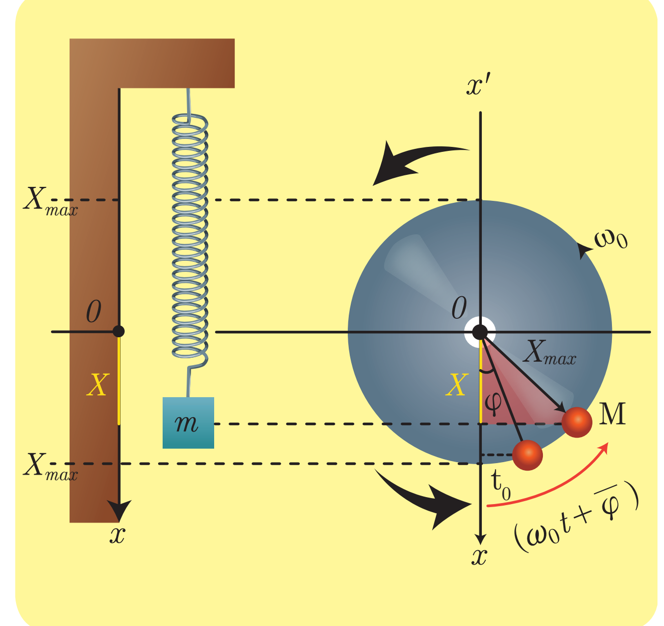
الحركةُ الاهتزازيّةُ: حركة جسمٍ يهتزُّ إلى جانبَي نقطةٍ ثابتةٍ تُسمّى مركزَ الاهتزاز.

إنّ حركةَ اهتزازِ جسمٍ صُلبٍ معلّقٍ بنابضٍ مرنٍ حلقاتُهُ متباعدةٌ هي أوضحُ مثالٍ على الحركة التوافقيّة البسيطة، ويُدعى هذا النوّاس المرنَ.

العلاقةُ بينَ الحركةِ الدائريّةِ المنتظمةِ والحركةِ التوافقيّةِ البسيطةِ (تمثيل فرينل) :



نشاط (4):



فـي الشـكلِ المجـاورِ تـدورُ نقطـةٌ ماديّـةٌ M بحركـةٍ دائريّـةٍ منتظمـةٍ سـرعتُها الزاويّـة ω_0 وشـعاعُ الموضع (شـعاع نصـف القطـر) $\overrightarrow{OM}$ طويلتـه X_{max}:

1. أسمّي الزاويـةَ التي يصنعُها $\overrightarrow{OM}$ مع المحور $\overrightarrow{x'x}$ في اللحظة $t=0$؟
2. أسمّي الزاويـةَ التي يصنعُها $\overrightarrow{OM}$ مع المحور $\overrightarrow{x'x}$ في اللحظة t؟
3. أُبيّـنُ أطويلـةُ الشـعاعِ $\overrightarrow{OM}$ ثابتـةٌ هـي أم متغيّـرةٌ عنـدَ الدوران؟
4. أُوضّـحُ هـل مسـقطُ الشـعاعِ $\overrightarrow{OM}$ علـى المحـور $\overrightarrow{x'x}$ يتغيّـر عنـدَ الـدوران؟
5. أكتب علاقة $\cos(\omega_0 t + \overline{\varphi})$ بدلالة x، و X_{max}.

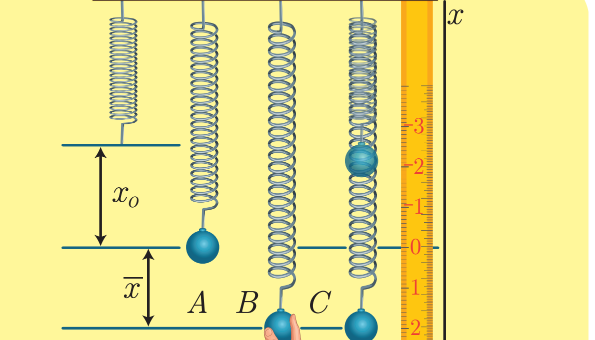


أستنتج

- الطّورُ الابتدائيُّ للحركة $\overline{\varphi}$ هو الزاويةُ بينَ الشعاعِ $\overrightarrow{OM}$ والمحور $\overrightarrow{x'x}$ في اللحظة $t=0$.
- طورُ الحركة $(\omega_0 t + \overline{\varphi})$ هو الزاويةُ بينَ الشعاعِ $\overrightarrow{OM}$ والمحور $\overrightarrow{x'x}$ في اللحظة t.
- سعةُ الحركة X_{max} هي طويلةُ الشعاعِ $\overrightarrow{OM}$ الثابتة عندَ الدوران.
- النبضُ الخاصُّ للحركة ω_0 يقابل السرعة الزاويّة الثابتة التي تدور بها النقطة M.
- مطالُ الحركة $\overline{x}$ هو مسقطُ الشعاعِ $\overrightarrow{OM}$ على المحور $\overrightarrow{x'x}$ وهو متغيّر بتغيّر الزمن.
- النسبة: $\frac{\overline{x}}{X_{max}} = \cos(\omega_0 t + \overline{\varphi})$.
- التابـعُ الزمنـيُّ لحركـةِ المسـقطِ تابـعٌ جَيبـيٌّ مـن الشـكل: $\overline{x} = X_{max}\cos(\omega_0 t + \overline{\varphi})$ لذلـك تُسـمّى الحركـةُ جَيبيّـةً انسـحابيّةً (توافقيّـة بسـيطة).

النوّاس المرن:

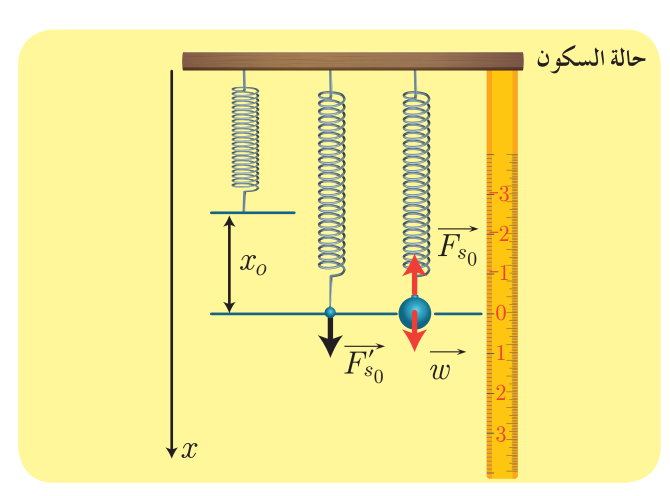
نشاط (5):



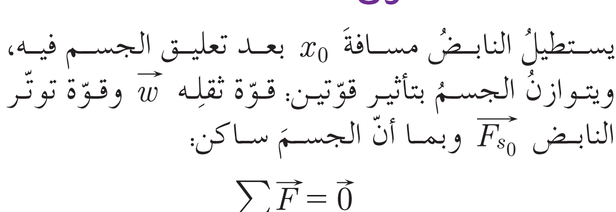
1. أُعلّقُ كرةً كتلتُها m بنابضٍ مرنٍ مهملِ الكتلةِ حلقاتُه متباعدةٌ، ثابتُ صلابتِه k، ماذا ألاحظ؟
2. أحدّدُ القوى المؤثّرة في الكرة بعد توازنها؟
3. أشدّ الكرةَ نحوَ الأسفلِ مسافةً مناسبةً (ضمن حدود مرونة النابض) دونَ أنْ أتركَها، وأحدّدُ القوى المؤثّرة في الكرةِ عندئذ.
4. أقارنُ بينَ قوّة توتّر النابضِ في الحالة A، وقوة توتر النابض في الحالة B؟
5. أتركُ الكرةَ لتتحرّك (الحالة C)، وألاحظُ شكلَ مسارِ حركتِها.
6. ما طبيعةُ حركةِ الكرةِ عندَ اقترابِها من مركزِ الاهتزاز؟ وعند ابتعادِها عنه؟
7. أحدّدُ المواضعَ التي تنعدمُ فيها السرعةُ.

قوّة الإرجاع:

1. حالةُ السكون:



يستطيلُ النابضُ مسافةَ x_0 بعد تعليق الجسم فيه، ويتوازنُ الجسمُ بتأثير قوّتين: قوّة ثقلِه $\overrightarrow{w}$ وقوّة توتّر النابض $\overrightarrow{F_{s_0}}$ وبما أنّ الجسمَ ساكن:



$$\sum \overrightarrow{F} = \overrightarrow{0}$$
$$\overrightarrow{w} + \overrightarrow{F_{s_0}} = \overrightarrow{0}$$

بالإسقاط على محورٍ شاقوليٍّ موجّهٍ نحوَ الأسفل

$$w - F_{s_0} = 0$$
$$w = F_{s_0}$$

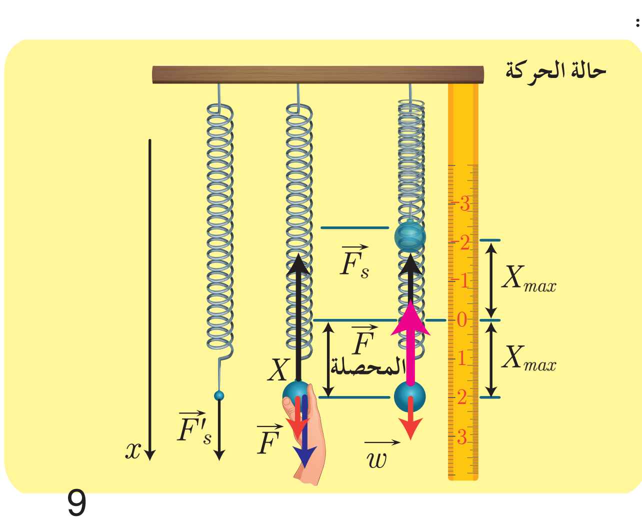
تؤثّر في النابضِ القوّة $\overrightarrow{F'_{s_0}}$ التي تسبّبُ له الاستطالة x_0 إذْ:

$$F'_{s_0} = F_{s_0} = k\,x_0$$

بالتعويضِ نجدُ: $w = k\,x_0$

يُسمّى المقدارُ x_0 الاستطالةَ السكونيّة.

2. حالةُ الحركة:



القوى الخارجيّةُ المؤثّرةُ في مركز عطالة الجسم: قوّة توتّر النابض: $\overrightarrow{F_s}$ وقوّة الثقل: $\overrightarrow{w}$

بتطبيق قانون نيوتن الثاني:

$$\sum \overrightarrow{F} = m\overrightarrow{a}$$
$$\overrightarrow{W} + \overrightarrow{F_s} = m\overrightarrow{a}$$

بالإسقاط على محورٍ شاقوليٍّ موجّهٍ نحوَ الأسفل:

$$w - F_s = m\,a$$

تؤثّر في النابضِ القوّة $\overrightarrow{F'_s}$ التي تسبّبُ له الاستطالة $(\overline{x} + x_0)$ إذْ:

$F'_s = F_s = k(\overline{x} + x_0)$ بالتعويضِ نجدُ:

$$w - k(\overline{x} - x_0) = m\,\overline{a}$$

$$w - k\,\overline{x} - k\,x_0 = m\,\overline{a}$$

$$w = F_{s0} = k\,x_0$$

لكن

$$-k\,\overline{x} = m\,\overline{a} = \overline{F}$$

نتيجة:

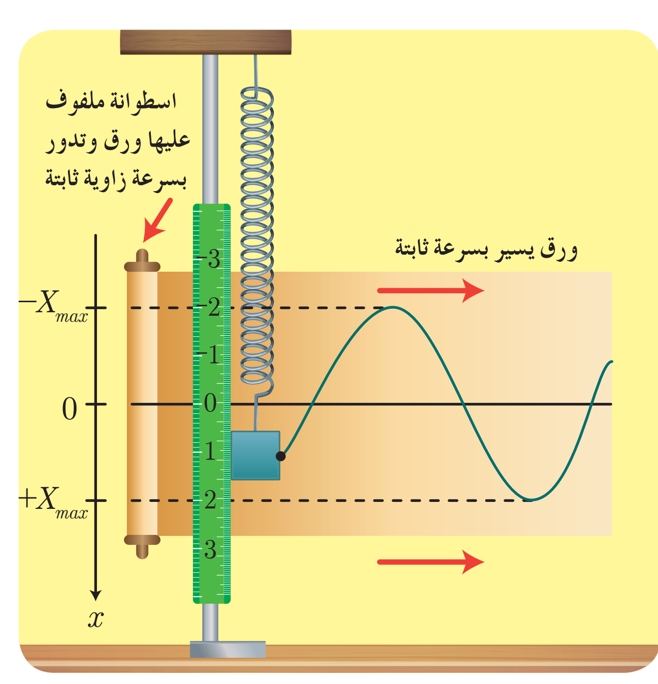
$$\overline{F} = -k\,\overline{x}$$

إنّ محصّلةَ القوى الخارجيّة المؤثّرة في مركز عطالة الجسم في كلّ لحظةٍ هي قوّة إرجاعٍ لأنّها تُعيدُ الجسمَ إلى مركزِ الاهتزازِ دوماً، وهي تتناسبُ طرداً مع المطال $\overline{x}$، وتعاكسُه بالإشارة.

1. استنتاجُ طبيعة حركة النوّاس المرن:

يتغيّرُ مطالُ الجسم (زيادةً ونقصاناً) بمرورِ الزمن إذْ يتحرّكُ الجسمُ بين موضعين متناظرَين بالنسبة إلى مركز الاهتزاز، فما طبيعةُ هذه الحركة؟

إنّ محصّلةَ القوى الخارجيّة التي يخضعُ لها مركزُ عطالة الجسم تُعطى بالعلاقة:



$$\overline{F} = m\,\overline{a} = -k\,\overline{x}$$

$$\overline{a} = -\frac{k}{m}\overline{x}$$

$$(\overline{x})''_t = -\frac{k}{m}\overline{x} \;.........(1)$$

وهي معادلةٌ تفاضليّةٌ من المرتبة الثانية تقبلُ حلّاً جيبيّاً من الشكل:

$$\overline{x} = X_{\max}\cos(\omega_0 t + \overline{\varphi}) \;.........(2)$$

للتحقّقِ من صحّة الحلّ نشتقّ تابع المطال مرّتين بالنسبة للزّمن نجد:

$$(\overline{x})'_t = \overline{v} = -\,\omega_0 X_{\max}\sin(\omega_0 t + \overline{\varphi})$$

$$(\overline{x})''_t = \overline{a} = -\,\omega_0^2 X_{\max}\cos(\omega_0 t + \overline{\varphi})$$

$$(\overline{x})''_t = -\,\omega_0^2\,\overline{x} \;.........(3)$$

بالمقارنة بين (1) و (3) نجد أنّ:

$$\omega_0^2 = \frac{k}{m}$$

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{k}{m}} > 0$$

وهذا محقّقٌ لأنّ k, m موجبان.

نتيجة:

إنّ حركـةَ النـوّاس المـرنِ هـي حركـةٌ جيبيّـةٌ انسـحابيّةٌ (هـزازة توافقيّـة بسـيطة) الشـكل العـام للتابـع الزمنـيّ للمطـال (الموضـع) يُعطى بالعلاقـة: $\overline{x} = X_{max}\cos(\omega_0 t + \overline{\varphi})$

$\overline{x}$ المطالُ أو (موضعُ الجسم) في اللحظة t ويقدّرُ بالمتر m.

X_{max} سعةُ الحركة وتقدّرُ بالمتر m.

ω_0 النبض الخاص للحركة ويقدّرُ $rad.s^{-1}$

$(\omega_0 t + \overline{\varphi})$ طورُ الحركةِ في اللحظة t.

$\overline{\varphi}$ الطورُ الابتدائيُّ في اللحظة $t = 0$ ويقدّرُ بالراديان rad.

ندعو كلّاً من X_{max} ، ω_0 ، $\overline{\varphi}$ ثوابتَ الحركة.

2. استنتاجُ علاقةِ الدّورِ الخاصِّ للنوّاس المرن:

بما أنّ:

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{k}{m}}$$

$$\omega_0 = \frac{2\pi}{T_0}$$

بالمساواةِ نجدُ:

$$\frac{2\pi}{T_0} = \sqrt{\frac{k}{m}}$$

$$T_0 = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$$

وهي علاقةُ الدّورِ الخاصِّ للنوّاس المرنِ غيرِ المُتخامدِ.

من العلاقةِ السّابقةِ أستنتجُ أنّ الدورَ الخاصَّ:

- لا يتعلّقُ بسعةِ الاهتزاز X_{max}.
- يتناسبُ طرداً مع الجذرِ التربيعيّ لكتلةِ الجسمِ المهتزّ m.
- يتناسبُ عكساً مع الجذرِ التربيعيّ لثابتِ صلابةِ النابض k.

توابعُ حركةِ النوّاسِ المرِن:

1. تابعُ المطالِ:

الشكلُ العامُّ للتابعِ الزمنيِّ للمطال:

$$\overline{x} = X_{max}\cos(\omega_0 t + \overline{\varphi})$$

ما شكلُ هذا التابعِ بفرضِ أنّ الجسمَ كان في مطاله الأعظميّ الموجبِ $x = +X_{max}$ في اللحظة $t = 0$؟

$$t = 0 \;,\; \overline{x} = +X_{max}$$

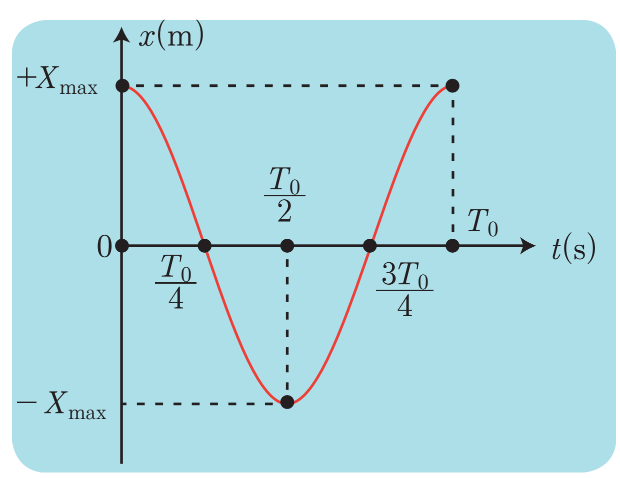
أعوّضُ في الشكل العامِّ لتابع المطال:

$$X_{max} = X_{max}\cos(0 + \overline{\varphi})$$

$$X_{max} = X_{max}\cos\overline{\varphi}$$

$$\cos\overline{\varphi} = 1$$

$$\varphi = 0\,\text{rad}$$



فيأخذُ التابعُ شكلاً مختزلاً: $x = X_{max} \cos w_0 t$

لدينا: $\omega_0 = \frac{2\pi}{T_0}$

أعوّضُ في التابع فأجدُ: $\overline{x} = X_{max} \cos \frac{2\pi}{T_0} t$

أُكملُ الجدول الآتيَ:

t	0	$\frac{T_0}{4}$	$\frac{T_0}{2}$	$\frac{3T_0}{4}$	T_0
x	$+X_{max}$		$-X_{max}$		

1. أرسمُ المنحني البيانيّ لتغيّرات المطال بدلالة الزمنِ خلالَ دور.
2. أحدّدُ المواضعَ التي يأخذَ فيها المطال:
   a. قيمةً عظمى (طويلة).
   b. قيمةً معدومة.
3. أحدّدُ مطالَ الجسم في اللحظة $t = \frac{3T_0}{2}$



أستنتج

المطالُ أعظميّ (طويلة) في الموضعين الطرفيّين $x = |\pm X_{max}|$.
المطالُ معدومٌ في مركز الاهتزاز $x = 0$.

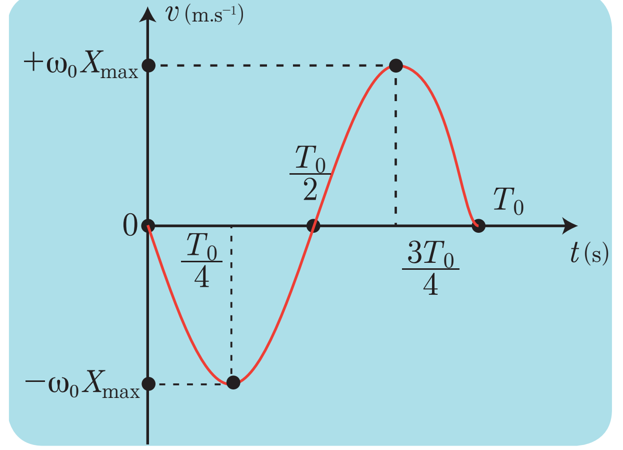
2. تابعُ السرعة:

إنّ تابعَ السرعةِ هو المشتقُّ الأوّلُ لتابع المطال بالنسبة للزمن.

$$\overline{v} = (\overline{x})'_t$$

$$\overline{v} = -\omega_0 X_{max} \sin w_0 t$$

$$\overline{v} = -\omega_0 X_{max} \sin \frac{2\pi}{T_0} t$$



أُكملُ الجدول الآتيَ:

t	0	$\frac{T_0}{4}$	$\frac{T_0}{2}$	$\frac{3T_0}{4}$	T_0
v	0	$-\omega_0 X_{max}$			

1. أرسمُ المنحني البيانيّ لتغيّرات السرعة بدلالة الزمنِ خلالَ دور.
2. أحدّدُ المواضعَ التي تأخذ فيها السرعةُ:
   a. قيمةً عظمى (طويلة).
   b. قيمةً معدومة.
3. أحدّدُ قيمةَ سرعة الجسم، وجهةَ حركتِهِ في اللحظة $t = \frac{5T_0}{4}$



أستنتج

السرعةُ أعظميّةٌ (طويلة) $v_{max} = | \pm\omega_0 X_{max} |$ لحظة المرور في مركز الاهتزاز.
السرعةُ معدومةٌ $v = 0$ لحظة المرور في المطالين الأعظميين (الموضعين الطرفيّين).

3. تابعُ التسارع:

إنّ تابعَ التسارع هو المشتقُّ الأوّلُ لتابع السرعةِ بالنسبة للزمن، وهو المشتقُّ الثاني لتابع المطال بالنسبة للزمن.

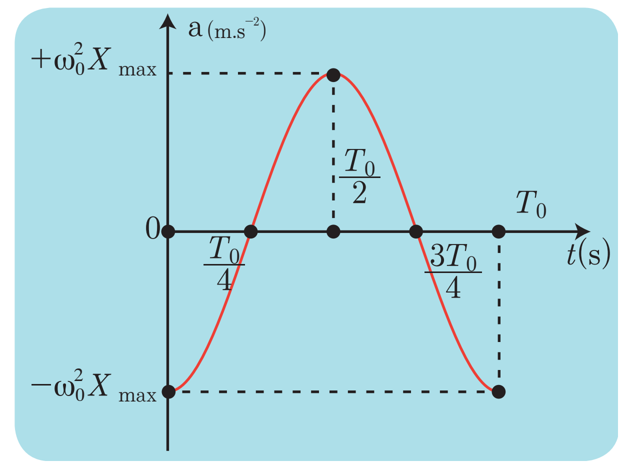
$$\overline{a} = (\overline{v})'_t$$
$$\overline{a} = (\overline{x})''_t$$
$$\overline{a} = -\omega_0^2 X_{max} \cos \omega_0 t$$
$$\overline{a} = -\omega_0^2 \, \overline{x}$$

وهو تابعُ التسارع بدلالة المطال.

$$\overline{a} = -\omega_0^2 X_{max} \cos \frac{2\pi}{T_0} t$$

أنظر الشكل وأُكملُ الجدول الآتيَ:

t	0	$\frac{T_0}{4}$	$\frac{T_0}{2}$	$\frac{3T_0}{4}$	T_0
a					



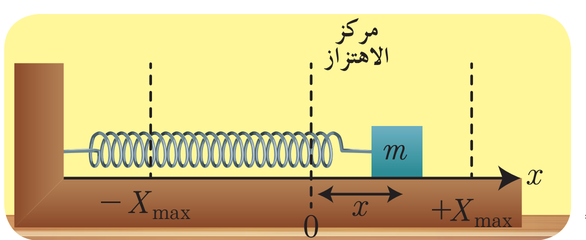
1. أرسمُ المنحني البياني لتغيّرات التسارع بدلالة الزمن خلال دور.
2. أحدّدُ المواضعَ التي يأخذُ فيها التسارعُ:
   a. قيمةً عظمى (طويلة).
   b. قيمةً معدومة.
3. أحدّدُ قيمةَ تسارع الجسم في اللحظة $t = \frac{5T_0}{2}$.

أتساءلُ:
أثابتةٌ قيمةُ التسارع أم متغيّرةٌ أثناء حركة الجسم؟

أستنتج

التسارعُ أعظميٌّ (طويلة) $a_{max} = | \pm\omega_0^2 X_{max} |$ عند المرور في المطالين الأعظميين (الموضعين الطرفيّين).
التسارعُ معدومٌ $a = 0$ عند المرور في مركز الاهتزاز.
التسارعُ غيرُ ثابتٍ تتغيّرُ قيمتُه بتغيّر المطال.

الطاقةُ في الحركةِ التوافقيّة البسيطة:



نثبّت إلى بداية ساق أفقية ملساء طرف نابض مرن مهمل الكتلة ونثبّت إلى نهايته الثانية جسماً صلباً كتلته m ونعدّ مركز عطالة الجسم وهو ساكن مبدأ للفواصل O، نزيح الجسم عن وضع توازنه ونتركه يهتز إلى جانبي موضع توازنه على طول قطعة مستقيمة لنشكّل بذلك نواساً مرناً غير متخامد إن الطاقةُ الميكانيكيّة للنوّاس المرنِ هي مجموعُ الطاقتين: الكامنة والحركيّة:

$$E_{tot} = E_p + E_k \ldots\ldots\ldots (1)$$

- الطاقةُ الكامنةُ المرونيّة للنابض هي $E_p = \frac{1}{2} k\, x^2$
  نعوّض تابع المطال:

$$E_p = \frac{1}{2} k\, X_{\max}^2 \cos^2(\omega_0 t + \overline{\varphi})$$

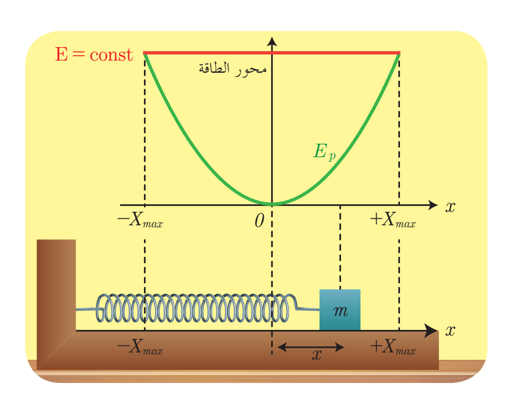
- الطاقةُ الحركيّة للجسم هي $E_k = \frac{1}{2} m\, v^2$ نعوّض تابع السرعة:

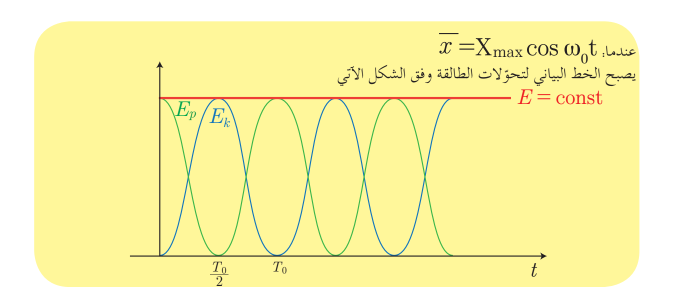
$$E_k = \frac{1}{2} m\, \omega_0^2 X_{\max}^2 \sin^2(\omega_0 t + \overline{\varphi})$$ نعوّض في (1):

$$E_{tot} = \frac{1}{2} k\, X_{\max}^2 \cos^2(\omega_0 t + \overline{\varphi}) + \frac{1}{2} m\, \omega_0^2\, X_{\max}^2 \sin^2(\omega_0 t + \overline{\varphi})$$ لكن $m\, \omega_0^2 = k$

$$E_{tot} = \frac{1}{2} k\, X_{\max}^2 \cos^2(\omega_0 t + \overline{\varphi}) + \frac{1}{2} k\, X_{\max}^2 \sin^2(\omega_0 t + \overline{\varphi})$$

$$E_{tot} = \frac{1}{2} k\, X_{\max}^2 = \text{const}$$





نشاط (6):

أحدّدُ المواضعَ التي تكون فيها كلٌّ من الطاقتين الحركيّة والكامنة المرونية:

1. عظمى
2. معدومة

تطبيق:

نوّاس مرنٌ أفقيٌّ مؤلّفٌ من جسمٍ ونابضٍ مرنٍ تابعُه الزمنيّ $x = 0.1\cos(\pi t + \pi)$.

المطلوب:

1. حدّدْ ثوابتَ الحركة لهذا النوّاس.
2. احسبْ دورَه T_0.
3. حدد موضع المتحرّك (الجسم) في لحظة بدء الزمن.

الحل:

1. نكتبُ التابع الزمنيَّ للنوّاس المرن

$$x = X_{max} \cos(\omega_0 t + \varphi)$$
$$x = 0.1 \cos(\pi t + \pi)$$

بالمقارنة نجدُ: المطالُ الأعظميُّ $X_{max} = 0.1\,\text{m}$

النبضُ $\omega_0 = \pi\ \text{rad.s}^{-1}$

الطورُ الابتدائيُّ للحركة (عند اللحظة $t = 0$) هو $\varphi = +\pi\ \text{rad}$

2. حسابُ الدورِ الخاصِّ: من العلاقة $T_0 = \frac{2\pi}{\omega_0} = \frac{2\pi}{\pi} = 2s$
3. $t = 0 \Longrightarrow x = 0.1\cos\pi = -0.1\,\text{m}$

أي المتحرك في مطاله الأعظمي السالب في لحظة بدء الزمن.

تعلّمتُ

- **النوّاس المرنُ: جسمٌ صُلْبٌ معلّقٌ بنابضٍ مرنٍ مهملِ الكتلة حلقاتُهُ متباعدةٌ يهتزُّ بحركةٍ اهتزازيّةٍ حولَ مركزِ الاهتزازِ.**
- **الاستطالة السكونيّة:** $x_0 = \frac{m\,g}{k}$
- **قوّة الإرجاع:** $\overline{F} = -k\,\overline{x}$ **تتناسب طرداً مع المطال وتعاكسُه بالإشارة.**
- **حركة النوّاس المرن: هي جيبيّةٌ انسحابيّةٌ من الشكل** $x = X_{max}\cos(\omega_0 t + \overline{\varphi})$
- **دورُ النوّاس المرن:** $T_0 = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$
- **نبضُ الحركة:** $\omega_0 = \sqrt{\frac{k}{m}}$ **أو** $\omega_0 = \frac{2\pi}{T_0}$
- **الطاقةُ الحركيّة:** $E_k = \frac{1}{2}m\,v^2 = \frac{1}{2}\,m\,\omega_0^2 X_{max}^2 \sin^2(\omega_0 t + \overline{\varphi})$
- **الطاقةُ الكامنة المرونيّة:** $E_p = \frac{1}{2}\,k\,x^2 = \frac{1}{2}\,k\,X_{max}^2 \cos^2(\omega_0 t + \overline{\varphi})$
- **الطاقةُ الكليّة الميكانيكية:** $E_{tot} = \frac{1}{2}\,k\,X_{max}^2 = \text{const}$

أختبر نفسي

أولا: اختر الإجابةَ الصحيحةَ فيما يأتي:

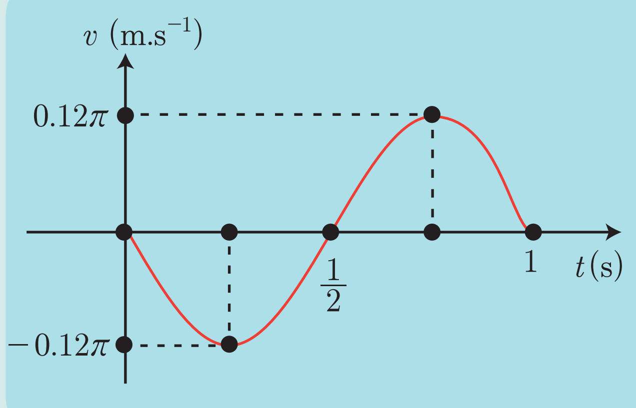
1. تابعُ المطال الذي يصفُ حركة الهزّازة الجيبيّة في الشكل المجاور هو:

a. $\overline{x} = 0.08 \cos(\pi t + \pi)$

b. $\overline{x} = 8 \cos(\pi t - \pi)$

c. $\overline{x} = 0.008 \cos(\pi t + \frac{\pi}{2})$

d. $\overline{x} = 0.8 \cos \pi t$



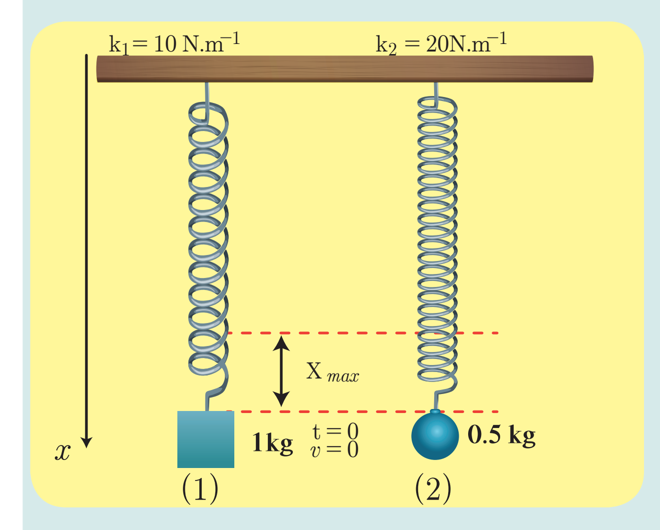
2. الرسمُ البيانيُّ جانباً يمثّلُ تغيّراتِ السرعةِ مع الزمنِ لجسمٍ مرتبطٍ بنابضٍ مرنٍ يتحرّكُ بحركةٍ توافقيّةٍ بسيطة، فيكونُ التابعُ الزمنيُّ للسرعة هو:

a. $\overline{v} = 0.06\pi \cos \pi t$

b. $\overline{v} = -0.06\pi \cos 2\pi t$

c. $\overline{v} = -0.12\pi \sin 2\pi t$

d. $\overline{v} = 0.12\pi \sin \pi t$



3. يمثّلُ الشكلُ المجاورُ هزازتان توافقيّتان (1) و (2) تنطلقان من الموضع نفسِه، وفي اللحظةِ نفسها، فإنّهما بعد مضي $3\,s$ من بدءِ حركتِهما:

a. تلتقيان في مركز الاهتزاز.

b. تلتقيان في الموضع $+X_{max}$

c. لا تلتقيان لأنّ مطالَ الأولى $+X_{max}$ ومطالَ الثانية $-X_{max}$.

d. لا تلتقيان لأنّ مطالَ الأولى $-X_{max}$ ومطالَ الثانية $+X_{max}$.

ثانياً: أجبْ عن الأسئلةِ الآتيةِ:

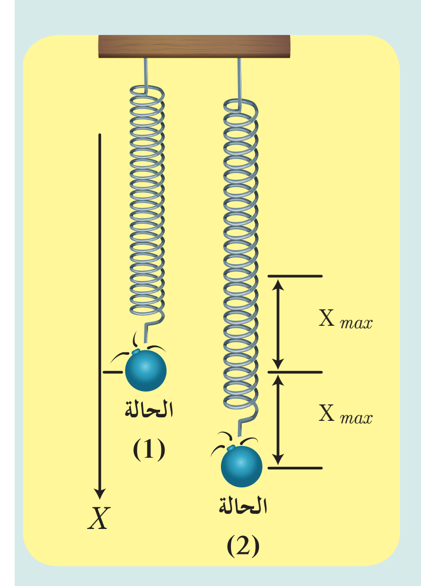
1. أثبتْ صحّةَ العلاقة: $v = \omega_0 \sqrt{X_{max}^2 - x^2}$ في الحركة التوافقيّة البسيطة.

2. نابضٌ مرنٌ مهملُ الكتلةِ حلقاتُهُ متباعدةٌ ثابتُ صلابتِه k، مثبّتٌ من أحدِ طرفيه، ويُربط بطرفه الآخرِ جسمٌ صُلبٌ كتلتُه m يمكنُه أنْ يتحرّكَ على سطحٍ أفقيٍّ أملس، كما في الشكل المجاور، نشدّ الجسمَ مسافةً أفقيّةً مناسبةً، ونتركُهُ دونَ سرعةٍ ابتدائيّة. المطلوب:



   a. ادرسْ حركة الجسم، واستنتج التابع الزمنيَّ للمطال.

   b. استنتجْ علاقةَ الطاقة الحركيّة للجسم بدلالة X_{max} في كلٍّ من الموضعين: A و B $x_A = -\frac{X_{max}}{2}$ و $x_B = +\frac{X_{max}}{\sqrt{2}}$، ماذا تستنتج؟



3. جسمٌ معلّقٌ بنابضٍ مرنٍ شاقوليٍّ مهمل الكتلة حلقاتُهُ متباعدةٌ يهتزُّ بدوره الخاصّ، ما نوعُ حركة الجسم بعد انفصاله عن النابض في كل من الموضعين الآتيين، ولماذا؟

   a. مركز الاهتزاز، وهو يتحرّك بالاتّجاه السالب؟

   b. المطال الأعظميّ الموجب؟

ثانياً: حُلَّ المسائلَ الآتيةَ:

(في جميع المسائل $g = 10\ m.s^{-2}$, $\pi^2 = 10$, $4\pi = 12.5$)

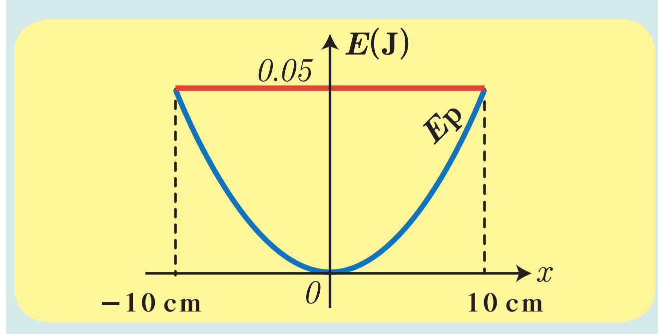
المسألة الأولى:

تتألّفُ هزّازةٌ جيبيّةٌ انسحابية من نابضٍ مرنٍ شاقوليٍّ مهمل الكتلةِ حلقاتُهُ متباعدةٌ، ثابتُ صلابتِه $k = 10\ N.m^{-1}$ ، مثبّتٌ من أحد طرفيه، ويحملُ في طرفه الآخر جسماً كتلَتُه m ، ويُعطى التابعُ الزمنيُّ لمطال حركتها بالعلاقة.
$\bar{x} = 0.1 \cos(\pi t + \frac{\pi}{2})$

المطلوب:

1. أوجدْ قيمَ ثوابت الحركة ودورَها الخاصّ.
2. احسبْ كتلة الجسم m.
3. احسب قيمةَ السّرعة في موضعٍ مطالُه $x = 5\ cm$ ، والجسمُ يتحرّكُ بالاتّجاه الموجبِ للمحور.

المسألة الثانية:



يوضّح الرسمُ البيانيُ المجاورُ تغيّراتِ الطاقةِ الكامنةِ المرونية بتغيّر الموضع لهزّازةٍ توافقيّةٍ بسيطةٍ مؤلّفةٍ من نابضٍ مرنٍ مهملَ الكتلة حلقاتُهُ متباعدةٌ ثابتُ صلابتِه k معلّقٌ به جسمٌ كتلتُه $0.4\,\text{kg}$.

المطلوب:

1. استنتجْ قيمةَ ثابت صلابة النابض k.
2. احسبْ الدورَ الخاصّ للحركة.
3. احسبْ قيمةَ السرعة عند المرور في مركز الاهتزاز.

المسألة الثالثة:

نشكّلُ هزّازةً توافقيّةً بسيطة من جسم كتلتُهُ $m = 1\,\text{kg}$ معلّقٌ بطرفِ نابضٍ مرنٍ شاقوليٍّ مهملِ الكتلةِ حلقاتُهُ متباعدةٌ فينجزُ 10 هزّاتٍ في $8\,\text{s}$، ويرسمُ في أثناءِ حركتِه قطعةً مستقيمةً طولُها $24\,\text{cm}$.

المطلوب:

1. استنتجْ قيمةَ الاستطالة السكونيّة لهذا النابض، ثمّ احسبْ قيمتها.
2. احسبْ قيمةَ السرعة العظمى (طويلة).
3. احسبْ قيمةَ التسارع في مطال $x = 10\,\text{cm}$.
4. احسبِ الطاقةَ الكامنةَ المرونيّة في موضع مطاله $x = -4\,\text{cm}$، واحسب الطاقة الحركيّة عندئذٍ.

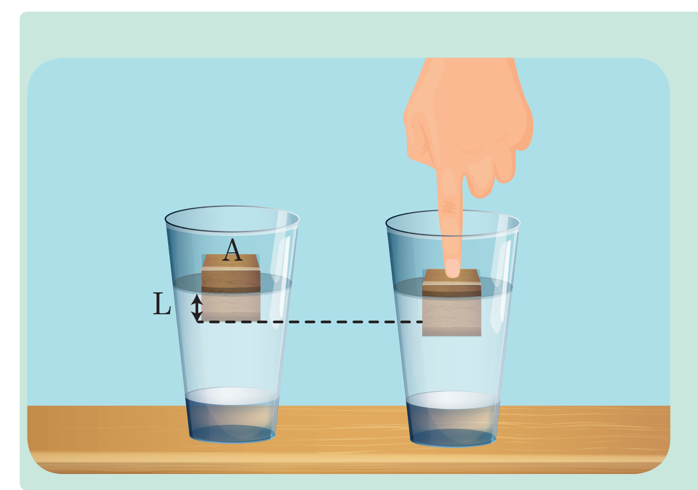
المسألة الرابعة:

تهتزُّ كرةٌ معدنيّةٌ كتلتُها m بمرونةِ نابضٍ شاقوليٍ مهملِ الكتلة، حلقاتُهُ متباعدةٌ، ثابتُ صلابته $k = 16\,\text{N.m}^{-1}$ بحركة توافقيّة بسيطة دورُها الخاصّ $1\,\text{s}$، وبسعة اهتزاز $X_{\text{max}} = 0.1\,\text{m}$، وبفرض مبدأ الزمن لحظة مرور الكرة بنقطة مطالُها $\frac{X_{\text{max}}}{2}$ وهي تتحرّك بالاتّجاه السالب.

المطلوب:

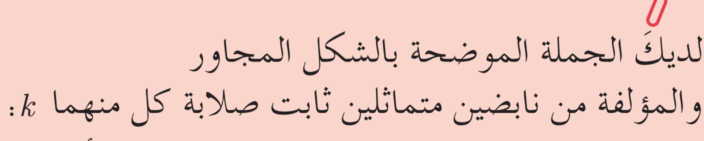
1. استنتج التابعَ الزمنيَّ لمطال حركة الكرة انطلاقاً من شكله العامّ.
2. عيّنْ لحظتَي المرور الأوّلِ والثالثِ للكرة في موضع التوازن. احسبْ شدّة قوّة الإرجاع في نقطة مطالُها $x = +0.1\,\text{m}$
3. احسبْ كتلة الكرة.

تفكير ناقد



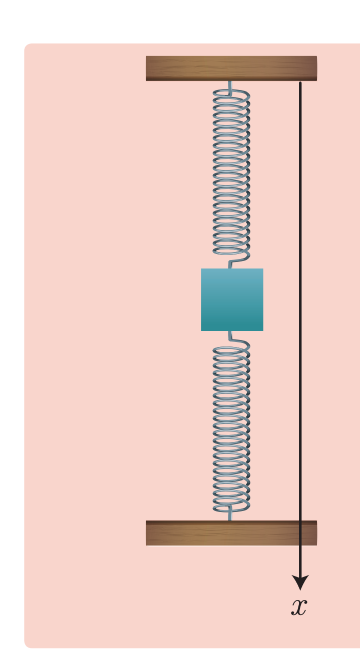
يحوي كأس ماء كتلته الحجمية ρ_{H_2O}،
يُوضع فيه مكعب خشبي كتلته m_{wood} وكتلته الحجميه ρ_{wood} حيث $\rho_{wood} < \rho_{H_2O}$ ومساحة سطحه A فيطفو وهو بحالة توازن وقد برز جزء منه فوق سطح الماء.
عند التأثير بقوة شاقولية على المكعب الخشبيّ ليغمر كلياً بالماء ثمّ يترك فجأة.
ما نوع حركة المكعب الخشبي؟

أبحث أكثر



لديكَ الجملة الموضحة بالشكل المجاور والمؤلفة من نابضين متماثلين ثابت صلابة كل منهما k:

1. قمنا بإجراء تجربتين على الجملة إحداهما على الأرض والأخرى في المحطة الفضائية:
2. هل يختلف دور الاهتزاز للجملة أم لا؟ ولماذا؟





2 الاهتزازاتُ الجيبيّةُ الدّورانيّةُ نوّاس الفتلِ غيرُ المُتخامدِ



الأهداف:

* يتعرّفُ نوّاس الفتل.
* يُبيّنُ تأثيرَ عزوم القوى في الحركة الدورانيّة.
* يُوضّحُ طبيعةَ حركة نوّاس الفتل
* يستنتجُ علاقةَ دور نوّاس الفتل تجريبيّاً.
* يُبيّنُ تحوّلَ الطاقة في نوّاس الفتل.
* يتعرّفُ التطبيقاتِ الحياتيّةَ لنوّاس الفتل غير المتخامد.
* يُعطي أمثلةً من حياته اليوميّة لنوّاس الفتل غير المتخامد

الكلمات المفتاحية:

* نواس الفتل
* سلك الفتل
* ثابت فتل السلك
* مزدوجة الفتل
* المطال الزاوي
* السعة الزاوية



تعتمدُ بعضُ السّاعات في عملها على حركة نابضٍ لولبيٍّ كما في الشكل.
إذْ تتأرجحُ كتلةٌ بحركةٍ دورانيّةٍ بين موضعين زاويّين متناظرين.
وأقربُ مثالٍ على تلك الحركة الدورانيّة هو تعليقُ ساقٍ متجانسةٍ من مركزها إلى سلكِ فتلٍ فولاذيٍّ ثابتُ فتلِه k ويُسمّى نوّاس الفتل.



أجرّب وأستنتج:

المواد اللازمة: حقيبةُ نوّاس الفتل المخبريّة.

تجربة (1)

خطوات التجربة:

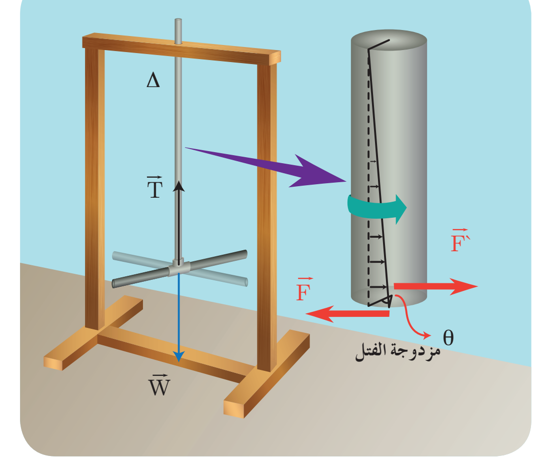
1. أركّب جهاز نوّاس الفتل المخبريّ الموضّح جانباً.
2. أُحدّدُ القوى الخارجيّة المؤثّرة في الساق المتوازنة في مستوٍ أفقيّ.
3. أُديرُ الساق عن وضع توازنها الأفقيّ بزاوية θ و أتركُها دونَ سرعةٍ ابتدائيّة.
4. أُحدّدُ القوى الخارجيّةَ المؤثّرةَ في الساق أثناءَ الحركة.
5. أُحدّدُ محصّلة العزوم للقوى المؤثّرة في الساق.



أستنتج

- **إنّ الساقَ المعلّقةَ بسلكِ الفتلِ تهتزُّ في مستوٍ أفقيٍّ حولَ سلكِ الفتلِ الشاقوليّ بتأثير عزمِ مزدوجةِ الفتلِ.**

1. دراسةُ حركةِ نوّاس الفتل:



- القوى الخارجيّة المؤثّرة في الساق: قوّة الثقل $\vec{w}$، قوّة التوتّر $\vec{T}$
- عندما نُدير الساق زاوية θ عن وضع توازنها في مستوٍ أفقيٍّ تنشأ في السلك مزدوجةُ فتلٍ $\vec{\eta}$ تقاوم عمليّة الفتل تعمل على إعادة الساق إلى وضع توازنها عزمُها هو عزمُ إرجاعٍ يتناسب طرداً مع زاوية الفتل θ ويعاكسها بالإشارة $\overline{\Gamma}_{\vec{\eta}/\Delta} = -k\,\overline{\theta}$
- بتطبيق العلاقة الأساسيّة في التحريك الدورانيّ (نظرية التسارع الزاويّ) حول محور Δ منطبقٍ على سلك الفتل الشاقوليّ:

$$\sum \overline{\Gamma}_{\Delta} = I_{\Delta}\,\overline{\alpha}$$

حيث I_{Δ} عزمُ عطالة الساقِ حولَ محور الدوران Δ (السلك) $\overline{\alpha}$ التسارع الزاويّ

$$\overline{\Gamma}_{\vec{w}/\Delta} + \overline{\Gamma}_{\vec{T}/\Delta} + \overline{\Gamma}_{\vec{\eta}/\Delta} = I_{\Delta}\,\overline{\alpha} \,.........(1)$$

- إنّ عزمَ كلٍّ من قوّة الثقل $\vec{w}$ وقوّة التوتّر $\vec{T}$ معدومٌ لأنّ حاملَ كلٍّ منهما منطبقٌ على محور الدوران Δ.
- عزمُ مزدوجة الفتل. $\overline{\Gamma}_{\vec{\eta}/\Delta} = -k\,\overline{\theta}$

$$0+0-k\,\overline{\theta}=I_\Delta\,\overline{\alpha}$$
$$-k\,\overline{\theta}=I_\Delta(\,\overline{\theta}\,)''_t$$
$$(\,\overline{\theta}\,)''_t=-\frac{k}{I_\Delta}\,\overline{\theta}\,.........(2)$$

المعادلةُ (2) هي معادلةٌ تفاضليّةٌ من المرتبة الثانية تقبل حلّاً جيبيّاً من الشكل: $\overline{\theta}=\theta_{\max}\cos(\omega_0 t+\overline{\varphi}\,)$
وللتحقّق من صحة الحلّ نشتقّ مرّتين بالنسبة بالزمن:

$\overline{\omega}=(\,\overline{\theta}\,)'_t=-\omega_0\theta_{\max}\sin(\omega_0 t+\overline{\varphi}\,)$ (تابع السرعة الزاويّة)

$\overline{\alpha}=(\,\overline{\theta}\,)''_t=-\omega_0^2\theta_{\max}\cos(\omega_0 t+\overline{\varphi}\,)$ (تابع التسارع الزاويّ)

$$(\theta)''_t=-\omega_0^2\,\overline{\theta}\,.........(3)$$

بموازنة العلاقتين (2) و (3) نجد:

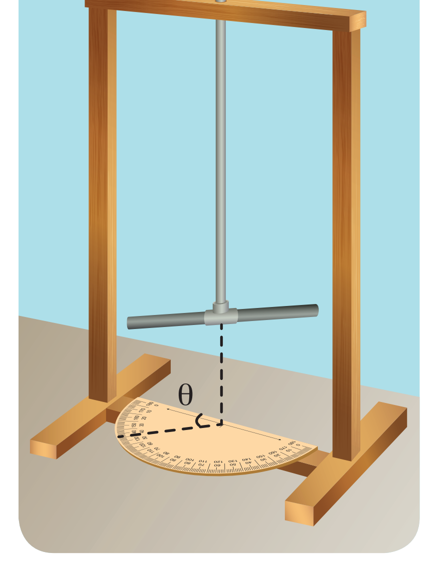
$$\omega_0^2=\frac{k}{I_\Delta}\,.........(4)$$
$$\omega_0=\sqrt{\frac{k}{I_\Delta}}>0$$

وهذا ممكن لأنّ k، I_Δ موجبان أي أنّ حركة نوّاس الفتل جيبيّة دورانيّة تابعها الزمنيّ من الشكل:

$$\overline{\theta}=\theta_{\max}\cos(\omega_0 t+\overline{\varphi}\,)$$

$\overline{\theta}$: المطال الزاويّ في اللحظة t واحدته rad
$\theta_{\max}$: المطال الزاويّ الأعظميّ (السعة الزاويّة) واحدته rad
ω_0: النبض الخاصّ بالحركة واحدتُه rad.s^{-1}
$\overline{\varphi}$: الطور الابتدائيّ للحركة واحدتُه rad.

أجرّب وأستنتج:



المواد اللازمة: حقيبة نوّاس الفتل المخبريّة.

تجربة (1)

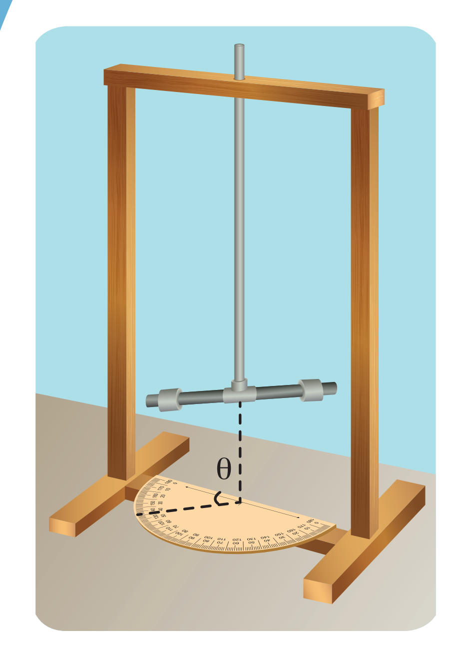
خطوات التجربة:

1. أُعلّقُ ساقاً معدِنيّةً متجانسةً طولُها l، كتلتُها m من منتصفها إلى سلك فتل شاقوليٍّ ثابتُ فتله k.
2. أُديرُ الساقَ زاوية θ_1 عن وضع توازنها في مستوٍ أفقيٍّ وأتركُها لتهتز دون سرعة ابتدائيّة.
3. أقيسُ زمن 10 نوسات.
4. أحسبُ زمن نوسةٍ واحدة، وليكن $T_{01}=\frac{t}{N}$.
5. أُعيدُ التجربةَ السابقةَ مع زاوية $\theta_2>\theta_1$.
6. أحسبُ زمنَ النوسة الواحدة.



أستنتج

- **لا تتغيّرُ قيمةُ الدّورِ الخاصِّ لنوّاس الفتل بتغيّرِ السعةِ الزاويّة للحركة.**



تجربة (2)

خطوات التجربة:

1. أُثبّتُ على السّاق كتلتين نقطيّتين متساويتين، وعلى بعدين متساويين من سلك التعليق وأديرُها زاوية θ.
2. أحسب زمن النوسة الواحدة، وليكن T_{0_2}.
3. أقارنُ T_{0_1} مع T_{0_2}، ماذا أستنتج؟



- **يزدادُ الدورُ الخاصُّ لنوّاس الفتل بزيادة عزم عطالة الجملة.**

تجربة (3)

خطوات التجربة:

1. أجعلُ طولَ سلك الفتل نصف ما كان عليه وأديرُها زاوية θ وأحسبُ زمن النوسة الواحدة T_{0_3}.
2. أقارنُ T_{0_1} مع T_{0_3}.



- **ينقصُ الدورُ الخاصُّ لنوّاس الفتل بنقصان طول سلك الفتل.**

2. دورُ نوّاس الفتل:

- وجدنا أنّ:

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{k}{I_\Delta}}$$

$$\frac{2\pi}{T_0} = \sqrt{\frac{k}{I_\Delta}}$$

$$T_0 = 2\pi\sqrt{\frac{I_\Delta}{k}}$$



أستنتج

أنّ الدورَ الخاصَّ لنوّاس الفتل:

- لا يتعلّقُ بالسعة الزاويّة للحركة θ_{max}.
- يتناسبُ طرداً مع الجذر التربيعي لعزم عطالة جملة النوّاس حول محور الدوران (سلك الفتل).
- يتناسبُ عكساً مع الجذر التربيعي لثابت فتل السلك.

ملاحظة: يُعطى ثابتُ فتل السلك بالعلاقة: $k = k'\frac{(2r)^4}{l}$

إذْ: k' ثابت يتعلّق بنوع مادّة السلك، $2r$ قطر السلك، l طول السلك.

3. التشابهُ الشكليُّ بين النوّاس المرن ونوّاس الفتل:

النوّاس المرن	حركة جيبيّة انسحابيّة	المطال $\overline{x}$	السرعة $\overline{v} = (\overline{x})'_t$	التسارع $\overline{a} = (\overline{x})''_t$	كتلة m
نوّاس الفتل	حركة جيبيّة دورانيّة	مطال زاويّ $\overline{\theta}$	السرعة الزاويّة $w = (\overline{\theta})'_t$	التسارع الزاويّ $\overline{\alpha} = (\overline{\theta})''_t$	عزم عطالة I_Δ
النوّاس المرن	ثابت الصلابة k	قوّة الإرجاع $\overline{F}$	الطاقة الكامنة المرونية $E_p = \frac{1}{2}k\,x^2$	الطاقة الحركية $E_k = \frac{1}{2}m\,v^2$	الطاقة الميكانيكية $E = \frac{1}{2}k\,X^2_{max}$
نوّاس الفتل	ثابت الفتل k	عزم الإرجاع $\overline{\Gamma}$	الطاقة الكامنة المرونية $E_p = \frac{1}{2}k\,\theta^2$	الطاقة الحركية $E_k = \frac{1}{2}I_\Delta\,w^2$	الطاقة الميكانيكية $E = \frac{1}{2}k\,\theta^2_{max}$

تعلّمتُ

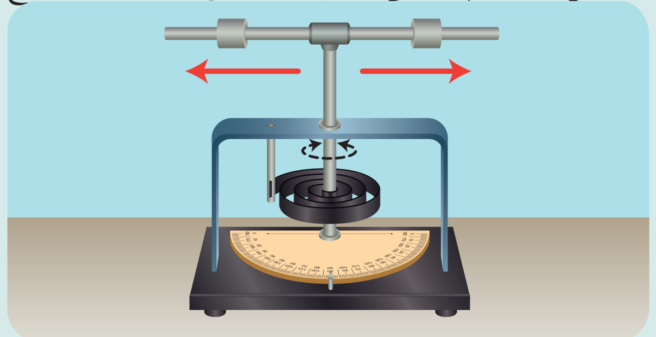
- نوّاس الفتل: جسم صلب متجانس معلق من مركزه إلى سلك فتل شاقولي ثابت فتله k.
- عزمُ الإرجاع: $\overline{\Gamma} = -k\,\overline{\theta}$ يتناسب طرداً مع المطال الزاويّ ويعاكسُه بالإشارة.
- طبيعةُ حركة نوّاس الفتل: جيبيّةٌ دورانيّةٌ من الشكل $\overline{\theta} = \theta_{max}\cos(\omega_0 t + \overline{\varphi})$
- دورُ نوّاس الفتل: $T_0 = 2\pi\sqrt{\frac{I_\Delta}{k}}$
- نبضُ الحركة: $\omega_0 = \sqrt{\frac{k}{I_\Delta}}$ أو $\omega_0 = \frac{2\pi}{T_0}$



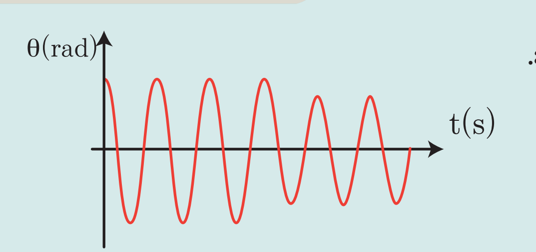
أختبر نفسي

أولا: اخترِ الإجابةَ الصحيحةَ فيما يأتي:

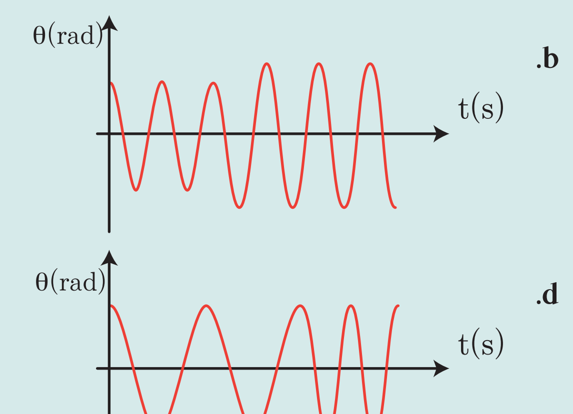
1. يهتزُّ نوّاس فتل بدور خاصّ T_0، في لحظة ما أثناء حركته ابتعدت الكتلتان عن محور الدوران بالمقدار نفسِه كما هو موضّحٌ بالشكل، فالرسمُ البيانيُّ الذي يعبّرُ عن تغيّر المطال مع الزمن في هذه الحالة هو:



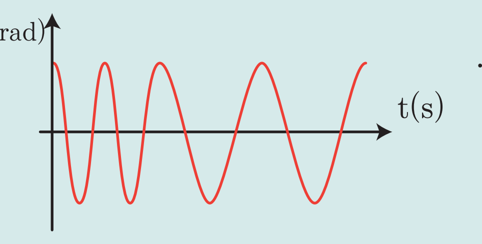
.a



.b



.c



.d

2. ميقاتيّةٌ تعتمدُ في عملها على نوّاس فتل كما في الشكل المجاور، ولتصحيح التأخير الحاصل بالوقت فيها، قدّم الطلّاب مقترحاتِهم، فإنّ الاقتراح الصحيح هو:



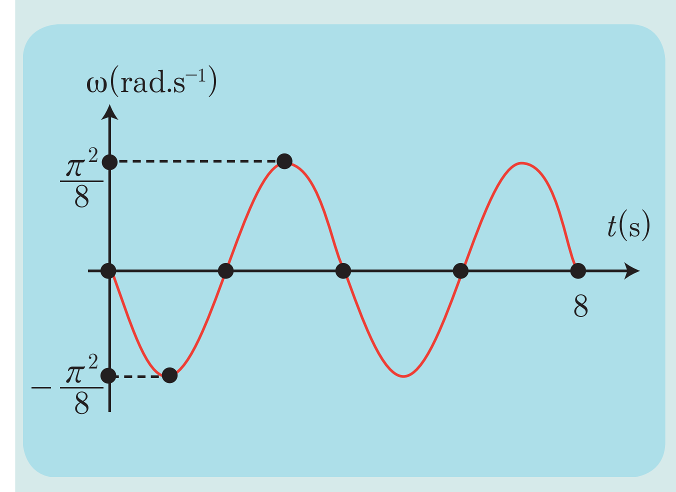
a. زيادةُ طول سلك الفتل بمقدار ضئيل

b. زيادة كتلة القرص مع المحافظة على قطره.

c. إنقاصُ طول سلك الفتل بمقدار ضئيل.

d. زيادةُ قطر القرص مع المحافظة على كتلته.

3. يمثّلُ الرسمُ البيانيُّ المجاورُ تغيّراتِ السرعةِ الزاويّة لنوّاس فتل بتغيّر الزمن، فإنّ تابع السرعة الزاويّة الذي يمثّله هذا المنحني هو:



a. $\overline{\omega} = \frac{\pi^2}{8}\sin 3\pi t$

b. $\overline{\omega} = -\frac{\pi^2}{8}\sin 2\pi t$

c. $\overline{\omega} = +\frac{\pi^2}{8}\sin \frac{\pi}{2} t$

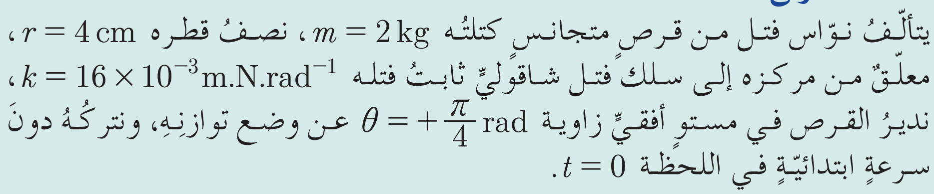
d. $\overline{\omega} = -\frac{\pi^2}{8}\sin \frac{\pi}{2} t$

ثانياً: أجبْ عن الأسئلةِ الآتيةِ

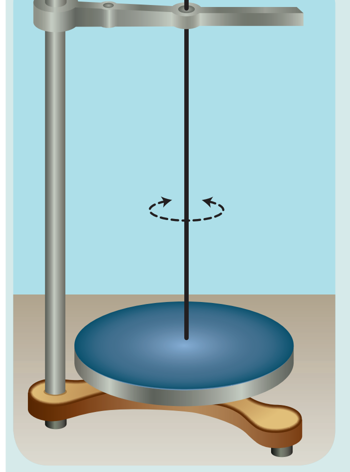
1. انطلاقاً من مصونيّة الطاقة الميكانيكيّة برهن أنّ حركة نوّاس الفتل حركةٌ جيبيّةٌ دورانيّة.
2. نعلّق ساقين متماثلتين بسلكَي فتلٍ متماثلين طولُ الأوّل l_1 وطولُ الثاني l_2 فإذا علمتَ أنّ $T_{0_1} = 2T_{0_2}$، أوجدِ العلاقةَ بين طولَي السلكين.

ثالثاً: حل المسائل الآتية: (في جميع المسائل $g = 10\,\text{m.s}^{-2}$, $\pi^2 = 10$, $4\pi = 12.5$)

المسألة الأولى:



يتألّفُ نوّاس فتل من قرص متجانس كتلتُه $m = 2\,\text{kg}$، نصفُ قطره $r = 4\,\text{cm}$، معلّقٌ من مركزه إلى سلكِ فتلٍ شاقوليٍّ ثابتُ فتله $k = 16\times10^{-3}\text{m.N.rad}^{-1}$، نديرُ القرص في مستوٍ أفقيٍّ زاوية $\theta = +\frac{\pi}{4}\,\text{rad}$ عن وضع توازنِه، ونتركُهُ دونَ سرعةٍ ابتدائيّةٍ في اللحظة $t = 0$.

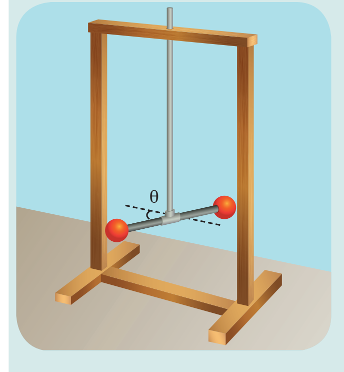




المطلوب:

1. احسبِ الدورَ الخاصّ للنوّاس.
2. استنتجِ التابعَ الزمنيَّ للمطال الزاويّ انطلاقاً من شكله العامّ.
3. احسبِ الطاقةَ الكامنةَ في وضع مطاله الزاويّ $\theta = \frac{\pi}{8}\,\text{rad}$، ثمّ احسب الطاقة الحركيّة عندئذٍ. (عزم عطالة قرص حول محور عموديّ على مستويه ومارّ من مركزه $I_{\Delta/c} = \frac{1}{2}mr^2$)

المسألة الثانية:



ساقٌ مهملةُ الكتلةِ طولُها l، نثبّتُ في كلٍّ من طرفيها كتلةً نقطيّة $125\,\text{g}$، ونعلّقُ الجملة من منتصفها إلى سلكِ فتلٍ شاقوليٍّ ثابتُ فتله $16\times10^{-3}\,\text{m.N.rad}^{-1}$ لتؤلّفَ الجملةُ نوّاس فتل، نزيحُ الساق عن وضع توازنها في مستوٍ أفقي بزاوية $\theta = \frac{\pi}{3}\,\text{rad}$ وتُتركُ دونَ سرعةٍ ابتدائيّةٍ لحظةَ بدء الزمن، فتهتزُّ بحركةٍ جيبيّة دورانيّة، دورُها الخاصّ $2.5\,\text{s}$



المطلوب:

1. استنتجِ التابعَ الزمنيّ للمطال الزاويّ انطلاقاً من شكله العامّ.
2. احسبْ قيمةَ السرعة الزاويّة للساق لحظة مرورها الأوّل بوضع التوازن.
3. احسبْ طولَ الساق.

المسألة الثالثة:

ساقٌ أفقيّةٌ متجانسةٌ طولُها $l = ab = 40\ \text{cm}$ معلّقةٌ بسلك فتلٍ شاقوليّ يمرُّ من منتصفها.

a. نديرُ الساقَ في مستوٍ أفقيٍّ بزاوية $\theta = 60^\circ$ انطلاقاً من وضع توازنها، ونتركُها دون سرعة ابتدائيّة في اللحظة $t = 0$ فتهتزّ بحركةٍ جيبيّة دورانيّة دورُها الخاصّ $T_0 = 1\,\text{s}$ فإذا علمتَ أنَّ عزم عطالة الساق بالنسبة لسلك الفتل $I_{\Delta/c} = 2 \times 10^{-3}\ \text{kg.m}^2$

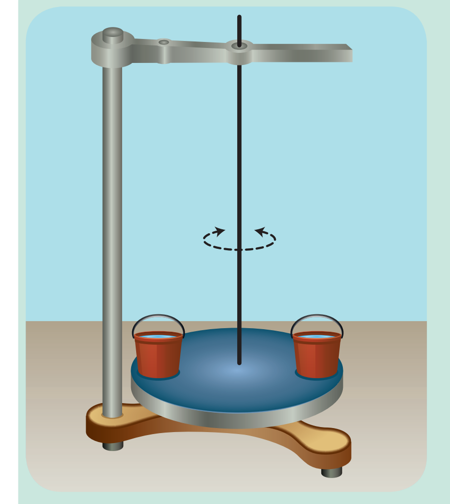
المطلوب:

1. استنتجِ التابعَ الزمنيَّ للمطال الزاويّ انطلاقاً من شكله العامّ.
2. احسبْ قيمةَ السرعة الزاويّة للساق لحظة مرورِها الثاني بوضع التوازن.
3. احسبْ قيمةَ التسارع الزاويّ للساق عندما تصنع زاوية (-30°) مع وضع توازنها.

b. نثبّت بالطرفين a, b كتلتين نقطيّتين $m_1 = m_2 = 75\ \text{g}$ استنتجْ قيمةَ الدورِ الخاصّ الجديد للجملة المهتزّة، ثم احسب قيمةَ ثابت فتل السلك.

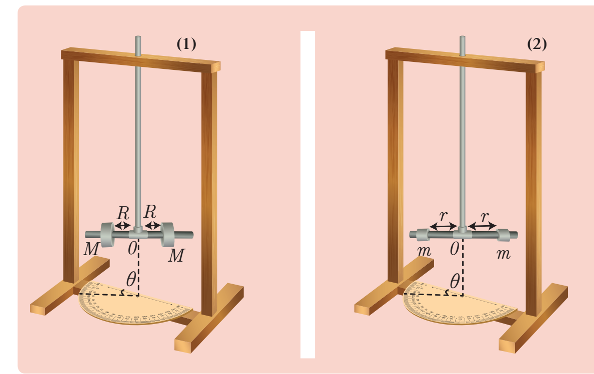
c. نقسّمُ سلكَ الفتل قسمين متساويين، ونعلّقُ الساقَ بعدئذٍ بنصفَي السلك معاً؛ أحدُهما من الأعلى، والآخرُ من الأسفل ومن منتصفها، ويثبّت طرف هذا السلك من الأسفل بحيث يكون شاقوليّاً. استنتجْ قيمةَ الدور الخاصّ الجديد للساق (دون وجود كتل نقطية). افترض $\pi^2 = 10$

تفكير ناقد



نواس فتل مؤلف من سلك فتل ثابت فتله k
وقرص معدني عزم عطالته $I_{\Delta/c} = \frac{1}{2} m r^2$ وقد ثُبِّت على محيطه كأسان متماثلان يحويان نفس الكمّية من الماء وقد جُهز كلّ منهما بصمّام يتجه نحو مركز القرص.
تُزاح الجملة عن موضع توازنها زاوية $\theta_{max} = \pi\ \text{rad}$ وتُترك دون سرعة ابتدائية في اللحظة $t = 0$، وفي إحدى النوسات تمّ فتح الصمامين هل تزداد السرعة الزاوية أم تنقص ولماذا؟

أبحث أكثر



يبيّن الشكلان المجاوران نواسَي فتل لهما السلك ذاته وكتلة الساق مهملة

حيث $M = 2m$, $r = 2R$

أيُّ النوّاسَين دوره أكبر؟



3 الاهتزازاتُ غيرُ التوافقيّة
النوّاس الثقليّ غيرُ المتخَامدِ



تنتشرُ لعبةُ الأرجوحة في معظم المُتنزّهات، هل لاحظتَ حركتَها؟
عند إزاحتها عن موضع توازنها تهتزّ إلى جانبَي وضع توازنها وتتخامدُ الحركةُ لتقفَ بعد مدّة، فهي بحاجةٍ لإعطائها دفعةً كي تهتزّ مجدّداً. والأمرُ مشابه لما يحدثُ في رقّاص الساعة الجداريّة إذْ يتأرجحُ بين وضعين متناظرين، وهو يحتاج إلى تغذيةِ حركتِهِ بتعويضِ الطاقة المبدّدة. ولعلّ الدراسةَ التجريبيّة والنظريّة للنوّاس الثقليّ غير المتخامد تعطي فكرةً عن طبيعة الحركة وتوابعها والفائدة المرجوّة منها.

الأهداف:

* يتعرّفُ النوّاس الثقليّ.
* يستنتجُ علاقةَ دور النوّاس الثقليّ من أجل السِّعات الزاويّة الصغيرة.
* يتعرّفُ النوّاس الثقلي البسيط.
* يستنتجُ علاقةَ دور النوّاس البسيط.
* يستنتجُ علاقةَ سرعة كرة النوّاس البسيط في وضعٍ ما.
* يستنتجُ علاقةَ توتّر خيطٍ النوّاس البسيط في وضعٍ ما.
* يبيّنُ تحوّلاتِ الطاقةِ في النوّاس البسيط بين الكامنة والحركيّة.

الكلمات المفتاحية:

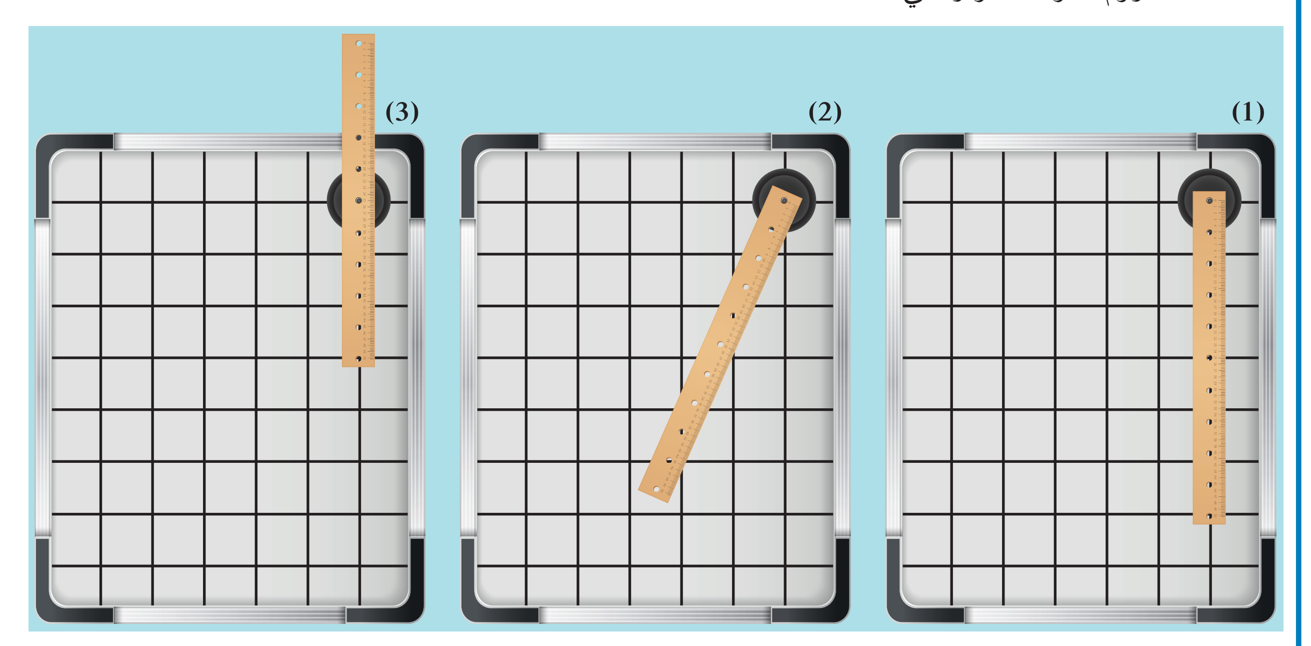
* النوّاس الثقلي المركّب
* النوّاس الثقلي البسيط

النّوّاس الثقليّ:

نشاط (1):

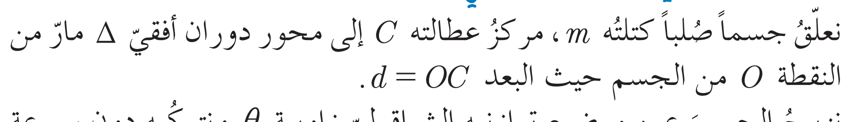
الأدواتُ المستعملة: حقيبةُ النوّاس الثقليّ

1. أُعلّقُ المسطرة من طرفها العلويّ في النقطة O بحامل مثبّت على اللوح، عموديّاً على مستويها الشاقوليّ، ليكونَ محورُ الدوران أفقيّاً، وأتركُها تتوازنُ شاقوليّاً.
   - ما القوى الخارجية المؤثّرة في الساق في هذه الحالة؟
   - أحدّدُ عزومَ القوى المؤثّرة.
2. أزيحُ المسطرة عن موضع توازنها بزاوية θ_1 وأتركُها دون سرعة ابتدائيّة.
   - ما نوعُ حركة المسطرة؟
   - أحدّدُ عزوم القوى المؤثّرة في هذه الحالة.
3. أعلّقُ المسطرةَ من ثُقب في منتصفها.
4. أزيحُ المسطرة عن موضع توازنها الشاقوليّ بزاوية θ_2 وأتركُها دون سرعة ابتدائيّة.
   - هل تتحرّكُ المسطرة؟
   - ما نوعُ توازن المسطرة؟
   - ما قيمةُ عزوم القوى المؤثّرة في هذه الحالة؟





- إنّ كلَّ جسم صُلْبٍ يهتزّ بتأثير عزم قوّة ثقله حول محور دوران عموديّ على مستويه، ولا يمرُّ من مركز عطالته، يُسمّى: بالنوّاس الثقليّ.



نعلّقُ جسماً صُلباً كتلتُه m ، مركزُ عطالته C إلى محور دوران أفقيّ Δ مارّ من النقطة O من الجسم حيث البعد $d = OC$.

نزيحُ الجسمَ عن موضع توازنه الشاقوليّ زاوية θ ونتركُه دون سرعة ابتدائيّة ليهتزّ في مستوٍ شاقوليّ.

تؤثّر في الجسم قوّتان هما:

- قوّة ثقله $\overrightarrow{W}$.
- قوّة ردّ فعل محور الدوران على الجسم $\overrightarrow{R}$.

بتطبيق العلاقة الأساسيّة في التحريك الدورانيّ (نظرية التسارع الزاويّ):

$$\sum \overline{\Gamma}_{\Delta} = I_{\Delta}\,\overline{\alpha}$$

$$\overline{\Gamma}_{\overrightarrow{W}/\Delta} + \overline{\Gamma}_{\overrightarrow{R}/\Delta} = I_{\Delta}\,\overline{\alpha}$$

وباختيار الجهة الموجبة للدوران عكس جهة دوران عقارب الساعة نجدُ:

$\overline{\Gamma}_{\overrightarrow{R}/\Delta} = 0$ لأنّ حاملَ القوّة يمرُّ من محور الدوران Δ .

$$\overline{\Gamma}_{\overrightarrow{W}/\Delta} = -(d\sin\theta)\,W$$

بالتعويض نجدُ:

$$-(d\sin\theta)\,W + 0 = I_{\Delta}\,\overline{\alpha}$$

$$-m\,g\,d\sin\overline{\theta} = I_{\Delta}\,\overline{\alpha}$$

لكن:

$$\overline{\alpha} = (\,\overline{\theta}\,)''_t$$

$$(\,\overline{\theta}\,)''_t = -\frac{m\,g\,d}{I_{\Delta}}\sin\overline{\theta}\;.........(1)$$

وهي معادلةٌ تفاضليّةٌ من المرتبة الثانية تحتوي $\sin\theta$ بدلاً من θ فحلُّها ليس جيبيّاً، ومن ذلك فإنّ حركة النوّاس الثقليّ هي حركةٌ اهتزازيّةٌ غيرُ توافقيّة.

كيف تصبحُ حركةُ النوّاس الثقليّ من أجل السّعات الزاويّة الصغيرة $(\theta \leq 0.24\ \text{rad})$؟

في هذه الحالة يكون $\sin\theta \simeq \theta$.

نعوّضُ في العلاقة (1) فنجدُ:

$$(\,\overline{\theta}\,)''_t = -\frac{m\,g\,d}{I_{\Delta}}\,\overline{\theta}\;.........(2)$$

وهي معادلةٌ تفاضليّةٌ من المرتبة الثانية تقبل حلّاً جيبيّاً من الشكل:

$$\overline{\theta} = \theta_{\max}\cos(\omega_0 t + \overline{\varphi}\,)$$

للتحقّق من صحة الحل نشتق تابع المطال الزاويّ مرّتين بالنسبة للزمن نجدُ:

$$\overline{\alpha} = (\,\overline{\theta}\,)''_t = -\,\omega_0^2\,\overline{\theta}\;.........(3)$$

بالمطابقة بين (2) و (3) نجدُ:

$$\omega_0^2 = \frac{m\,g\,d}{I_{\Delta}}$$

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{m\,g\,d}{I_{\Delta}}} > 0$$

وهـذا محقّـقٌ لأنّ المقاديـر $g\,, m\,, d\,, I_\Delta$ موجبـةٌ، فحركـةُ النـوّاس الثقلـيّ مـن أجـل السّـعات الزاويّـة الصغيـرة هـي حركـةٌ جيبيّـةٌ دورانيّـة نبضُهـا الخـاصّ ω_0.

استنتاجُ علاقة الدّور الخاصّ للاهتزاز:

$$\omega_0^2 = \frac{2\pi}{T_0}$$

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{m\,g\,d}{I_\Delta}}$$

$$T_0 = 2\pi\sqrt{\frac{I_\Delta}{m\,g\,d}}$$

وهي العلاقةُ العامّةُ للدّور الخاصّ للنوّاس الثقليّ في حالة الاهتزازات صغيرة السّعة.

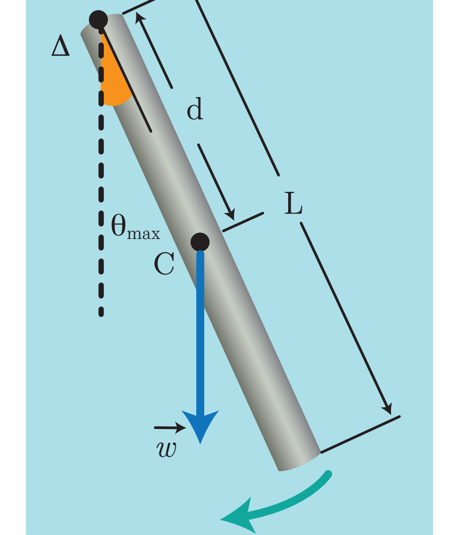
- T_0 دورُ النوّاس الثقليّ الخاص بسعة زاويّة صغيرة، واحدتُه s.
- I_Δ عزمُ عطالة الجسم الصُلب، واحدتُه $\mathrm{kg.m^2}$
- d بعدُ محور الدوران عن مركز عطالة الجسم الصُلب C واحدتُه m ويمكنُ حسابُها:
  - إمّـا بتطبيـق علاقـة التـوازن الدورانـيّ $\sum \overline{\Gamma}_{\Delta\backslash c} = 0$ حـول محـور دوران مـارّ مـن C مركـز عطالـة الجسـم الصلـب.
  - أو بتطبيق العلاقة: $OC = d = \dfrac{m_1\overline{r_1} + m_2\overline{r_2} + \ldots\ldots + m_i\overline{r_i}}{m_1 + m_2 + \ldots\ldots + m_i} = \dfrac{\sum m_i\overline{r_i}}{\sum m_i}$

إذْ يمكـنُ عـدُّ الجسـم مكوّنـاً مـن عـدّة أجزاء نفترضُهـا نقاطـاً ماديّـة كُتلُهـا $(m_1, m_2, \ldots\ldots, m_i)$ وهـي تبعدُ عـن محـور الـدوران الأبعـاد $(r_1, r_2, \ldots\ldots, r_i)$.

$\overline{r}$ مقـدارٌ جبـريٌّ نعـدُّهُ موجبـاً إذا كان مركـزُ عطالـة الكتلـة المهتـزّة تحـت محـور الـدوران، وسـالباً إذا كان مركـزُ عطالـة الكتلـة المهتـزّة فـوق محـور الـدوران.

تطبيق:

نـوّاسٌ ثقلـيٌّ مؤلّـفٌ مـن سـاقٍ متجانسـةٍ طولُهـا $L = 0.375\,\mathrm{m}$ وكتلتُهـا M معلّقـةٌ مـن طرفهـا العلـويّ بمحـور أفقـيّ عمـوديّ علـى مسـتويها الشـاقوليّ، نزيـحُ السـاق عـن موضـع توازنهـا الشـاقوليّ زاويـةً صغيـرةً $(\theta \le 14^\circ)$ ونتركُهـا دون سـرعة ابتدائيّـة. اسـتنتجْ بالرمـوز العلاقـةَ المحـدّدة للـدّور الخـاصّ انطلاقـاً مـن العلاقـة العامّـة للـدّور الخـاصّ للنـوّاس الثقلـيّ المركـّب، ثـمّ احسـب قيمتَهـا، علمـاً أنّ عـزمَ عطالـة السّـاق حـول محـور عمـوديّ علـى مسـتويها ومـارّ مـن مركـز عطالتهـا $(I_{\Delta/c} = \frac{1}{12}M\,L^2)$



الحل:

يُعطى دورُ النوّاس الثقليّ بالعلاقة: $T_0 = 2\pi\sqrt{\dfrac{I_\Delta}{m\,g\,d}}$

- لإيجاد عزم عطالة السّاق حول المحور المارّ من O:

نطبّقُ نظرية هايغنز:

$$I_\Delta = I_{\Delta\backslash c} + M\,d^2$$

$$d = \frac{L}{2}$$

$$I_\Delta = \frac{1}{12}M\,L^2 + M\left(\frac{L}{2}\right)^2 = \frac{1}{3}M\,L^2$$

نعوّضُ في علاقة الدّور: $T_0 = 2\pi\sqrt{\dfrac{\frac{1}{3}M\,L^2}{M\,g\,\frac{L}{2}}} = 2\pi\sqrt{\dfrac{2L}{3g}} = 2\pi\sqrt{\dfrac{2\times 0.375}{3\times 10}} = 1\,\mathrm{s}$

1. النوّاس الثقليّ البسيط:

نظريّاً: نقطةٌ ماديّةٌ تهتزّ بتأثير ثقلها على بُعد ثابت l من محور أفقيّ ثابت.

عمليّاً: كرةٌ صغيرةٌ كتلتُها m كثافتُها النسبيّة كبيرةٌ معلّقةٌ بخيطٍ مهملِ الكتلة لا يمتط طولُهُ l كبير بالنسبة لنصف قطر الكرة.

* الدراسة التحريكيّة:

القوى الخارجيّة المؤثّرة في الكرة:

- $\vec{w} = m\,\vec{g}$ ثقل الكرة.
- $\vec{T}$ توتّر الخيط.

بتطبيق القانون الثاني لنيوتن:

$$\sum \vec{F} = m\,\vec{a}$$

$$\vec{w} + \vec{T} = m\,\vec{a}$$

بالإسقاط على المَمَاسّ الموجّه بجهة إزاحة الكرة:

$$-m\,g\sin\theta + 0 = m\,a_t$$

$$\overline{a}_t = l\,\overline{\alpha} = l(\overline{\theta})''_t$$

نعوّض في العلاقة السابقة مع الاختصار $(\overline{\theta})''_t = -\frac{g}{l}\sin\theta$

وفي حالة السّعات الزاويّة الصغيرة

$$\theta \leq 0.24\ \text{rad}$$

$$\sin\theta \simeq \theta$$

$$(\overline{\theta})''_t = -\frac{g}{l}\overline{\theta}\ \ldots\ldots\ldots(1)$$

معادلةٌ تفاضليّةٌ من المرتبة الثانية تقبل حلّاً جيبيّاً من الشكل:

$$\overline{\theta} = \theta_{max}\cos(\omega_0 t + \overline{\varphi})$$

للتحقّق من صحة الحل نشتق تابع المطال مرّتين بالنسبة للزمن نجدُ: $(\overline{\theta})''_t = -\omega_0^2\overline{\theta}\ \ldots\ldots\ldots(2)$

بالمطابقة بين (1) و (2) نجدُ: $\omega_0^2 = \frac{g}{l}$

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{g}{l}} > 0$$

وهذا محقّقٌ؛ لأنّ g، l مقداران موجبان، فحركةُ النوّاس الثقليّ البسيط من أجل السّعات الزاويّة الصغيرة هي حركةٌ جيبيّةٌ دورانيّةٌ نبضُها الخاصُّ ω_0.

استنتاجُ علاقة الدّور الخاصّ للاهتزاز:

$$\omega_0 = \frac{2\pi}{T_0}$$

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{g}{l}}$$

$$\frac{2\pi}{T_0} = \sqrt{\frac{g}{l}} \Longrightarrow T_0 = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$$

وهي علاقةُ الدّور الخاصّ للنوّاس الثقليّ البسيط في السعات الزاويّة الصغيرة.

ملاحظة: يمكنُ الوصولُ لعلاقةِ الدّور الخاصّ للنوّاس البسيط انطلاقاً من العلاقة العامّة للدّور الخاصّ للنوّاس الثقليّ المركّب في حالة السّعات الزاويّة الصغيرة، وذلك بتعويض كلٍّ من:

$$d = l\ ,\ I_\Delta = m\,l^2$$

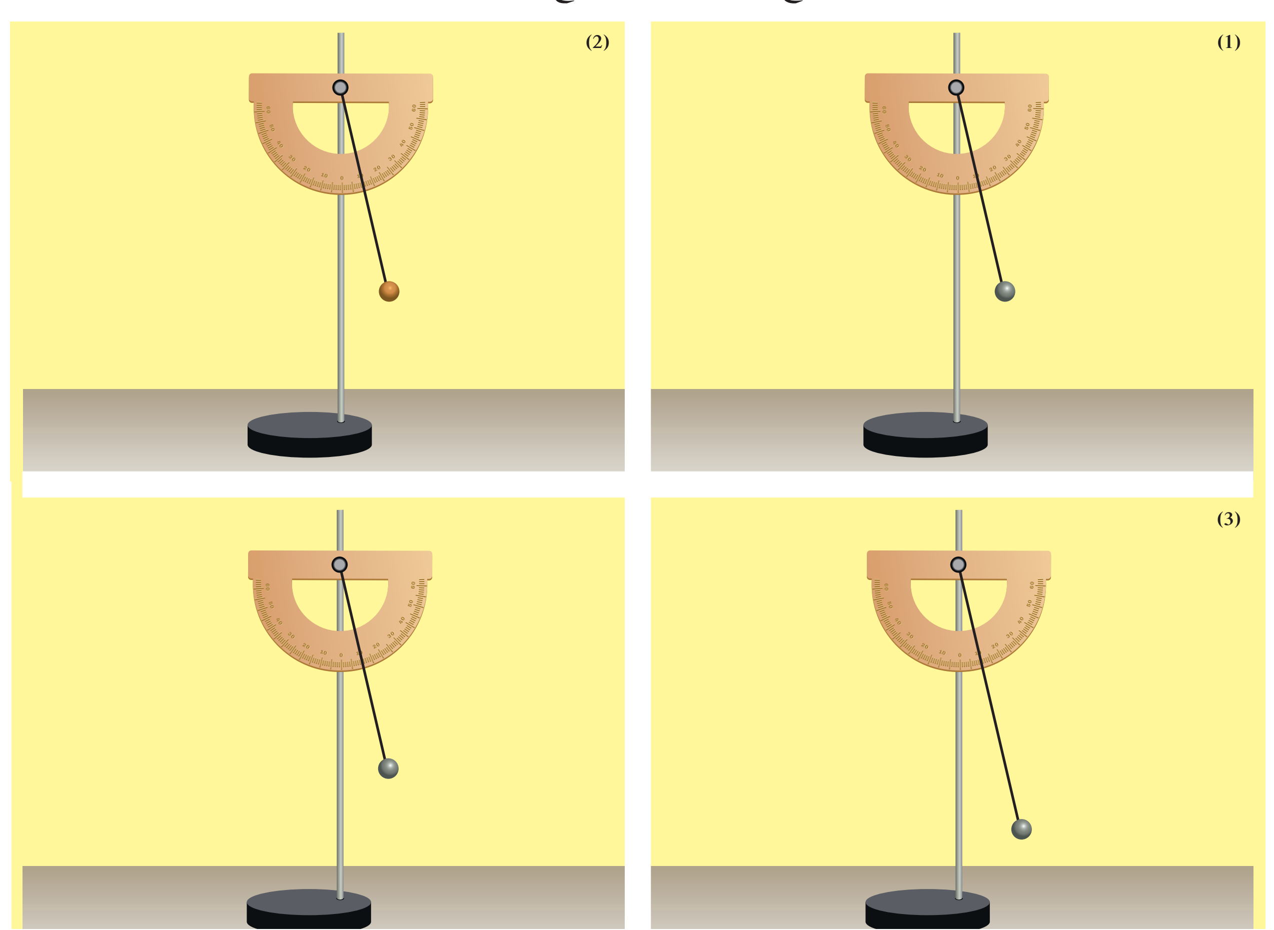
في علاقة الدّور: $T_0 = 2\pi\sqrt{\frac{m\,l^2}{m\,g\,l}}$

$$T_0 = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$$

نشاط (1):

الأدواتُ المستعملة: كراتٌ مختلفةُ الكتلة، حاملٌ معدِنيّ، مِنقلةٌ، خيطٌ، ميقاتيّة.

1. أعلّق كرةً معدِنيّة بخيطٍ عديم الامتطاط طولُه $30\,cm$.
2. أزيحُ كرة النوّاس عن الشاقول بزاوية صغيرة 10° وأتركُها دون سرعة ابتدائيّة.
3. أحسبُ زمن 10 نوسات وليكن t_1.
4. أحسبُ زمن النوسة الواحدة من العلاقة $T_{0_1} = \frac{t_1}{10}$.
5. أكرّرُ التجربة السابقة باستبدال كرةٍ أخرى من الخشب بالكرة المعدِنية، وأقيسُ زمن 10 نوسات وليكن t_2.
6. أحسبُ زمن النوسة الواحدة $T_{0_2} = \frac{t_2}{10}$
7. أقارنُ بين T_{0_1} و T_{0_2}، ماذا أستنتجُ؟
8. أكرّرُ التجربة في الشكل (1) من أجل زوايا مختلفة $14^\circ, 30^\circ, 45^\circ$ أحسبُ زمن النوسة الواحدة. ماذا أستنتجُ؟
9. أكرّرُ التجربة الأولى باستبدال الخيط بخيط آخرَ طولُه مختلف.
10. أحسبُ زمن 10 نوسات وليكن t_3
11. أحسبُ زمن النوسة الواحدة $T_{0_3} = \frac{t_3}{10}$.
12. أقارنُ T_{0_1} و T_{0_3}، ماذا أستنتجُ؟
13. أُبيّنُ كيف يتغيّر الدورُ بتغيّر قيمة تسارع الجاذبيّة الأرضيّة مع ثبات طول الخيط (ثبات درجة الحرارة)؟





1. لا يتعلّقُ دورُ النوّاس البسيط بكتلته، ولا بنوع مادّة كرته.
2. النوسات صغيرة السّعة لها الدورُ نفسُه (متواقتة فيما بينها).
3. يتناسبُ دورُ النوّاس البسيط من أجل السعات الزاويّة الصغيرة:
   - طرداً مع الجذر التربيعيّ لطول الخيط l.
   - عكساً مع الجذر التربيعيّ لتسارع الجاذبيّة الأرضيّة g.

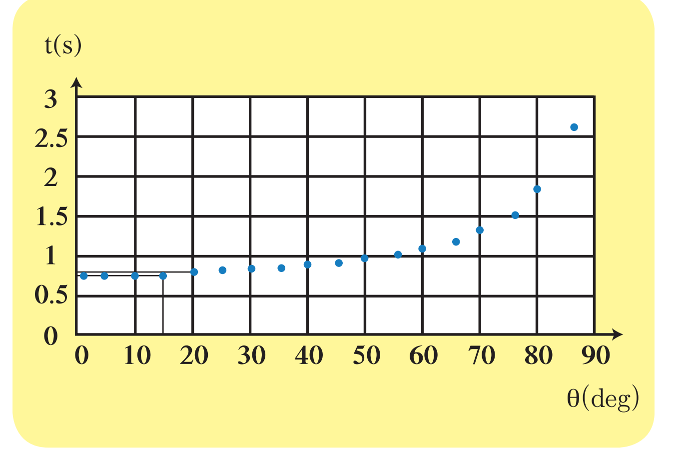
ملاحظة: إنّ مستويَ النّوَسانِ ثابتٌ طيلةَ مدّة إجراء التجربة.

2. الدراسةُ التجريبيّةُ للنوّاس الثقليّ:

إنّ الدراسةَ السابقة للنوّاس الثقليّ (المركّب أو البسيط) كانت من أجل السّعات الزاويّة الصغيرة $(\theta_{max} \le 14^\circ)$ ولكن كيف نحسبُ دورَ النوّاس إذا كانت السّعة الزاويّة كبيرة؟

نشاط (1):

الرّسمُ البيانيُّ المجاورُ يوضّحُ عدداً من التجاربِ لقياس قيمة الدّورِ عند سعاتٍ زاويّةٍ مختلفةٍ:



- في المجال $(\theta_{max} \le 14^\circ)$ على محور السّعات هل قيمة الدور ثابتة؟
- في المجال $(\theta_{max} > 14^\circ)$ هل قيمة الدور ثابتة عند ازدياد السّعة الزاويّة؟

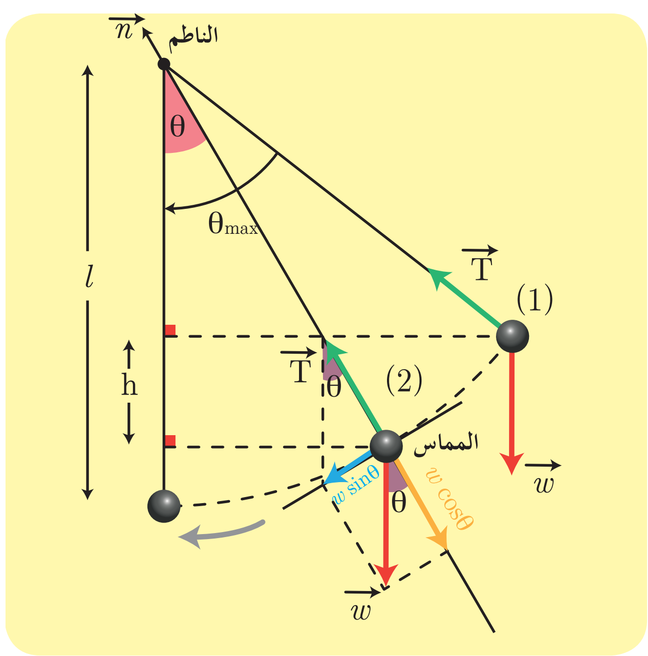
يُعطى دورُ النوّاس الثقليّ في حال السّعات الزاويّة الكبيرة بالعلاقة:

$$T'_0 \simeq T_0\left[1 + \frac{\theta^2_{max}}{16}\right]$$

حيث: T_0 دورُ النوّاس في حالة السّعات الزاويّة الصغيرة

θ_{max} السّعة الزاويّة مقدّرة بالراديان

3. استنتاجُ العلاقة المحدّدة لسرعة كرة النوّاس وعلاقة توتّر خيط التعليق في نقطة من مسارها :



نزيحُ كرة النوّاس عن موضع توازنها الشاقوليّ بزاوية θ_{max} ونتركُها دون سرعة ابتدائيّة:

1. لإيجاد العلاقة المحدّدة لسرعة الكرة في الوضع (2) القوى الخارجيّة المؤثّرة:

ثقل الكرة $\overrightarrow{W}$، توتّر الخيط $\overrightarrow{T}$

نطبّق نظريّة الطاقة الحركيّة بين وضعين:

الأوّل: حيث يصنع الخيط مع الشاقول الزاوية θ_{max}

الثاني: حيث يصنع الخيط مع الشاقول الزاوية θ

$$\Delta \overline{E}_{k(1\to 2)} = \sum \overline{W}_{\overrightarrow{F}}$$

$$E_{k2} - E_{k1} = \overline{W}_{\overrightarrow{W}} + \overline{W}_{\overrightarrow{T}}$$

$$\overline{W}_{\overrightarrow{W}} = m\,g\,h$$

$\overline{W}_{\overrightarrow{T}} = 0$ لأنّ حاملَ $\overrightarrow{T}$ يعامدُ الانتقال في كلّ لحظة $\frac{1}{2}mv^2 - 0 = m\,g\,h + 0$

وبملاحظة الشكل نجدُ:

$$h = l\cos\theta - l\cos\theta_{max}$$

$$h = l(\cos\theta - \cos\theta_{max})$$

نعوّضُ:

$$\frac{1}{2}mv^2 = m\,g\,l(\cos\theta - \cos\theta_{max})$$

$$v^2 = 2\,g\,l(\cos\theta - \cos\theta_{max})$$

$$v = \sqrt{2\,g\,l(\cos\theta - \cos\theta_{max})}$$

حالةٌ خاصّة: عند المرور بالشاقول: $\theta = 0$

تصبحُ العلاقةُ بالشكل: $v = \sqrt{2\,g\,l(1 - \cos\theta_{max})}$

2. لإيجاد العلاقة المحدّدة لقوّة توتّر الخيط في الوضع (2): نطبّق العلاقة الأساسية في التحريك:

$$\sum \overrightarrow{F} = m\,\overrightarrow{a}$$

$$\overrightarrow{W} + \overrightarrow{T} = m\,\overrightarrow{a}$$

بالإسقاط على محور ينطبق على حامل $\overrightarrow{T}$ وبجهته (الناظم):

$$-W\cos\theta + T = m\,a_c$$

التسارع الناظميّ $a_c = \frac{v^2}{l}$

$$T = m\frac{v^2}{l} + m\,g\cos\theta$$

$$T = 2\,m\,g(\cos\theta - \cos\theta_{max}) + m\,g\cos\theta$$

$$T = m\,g(3\cos\theta - 2\cos\theta_{max})$$

حالة خاصّة: عند المرور بالشاقول $\theta = 0$:

$$T = m\,g(3 - 2\cos\theta_{max})$$

4. الطاقةُ الميكانيكيّةُ للنوّاس الثقليّ البسيط :

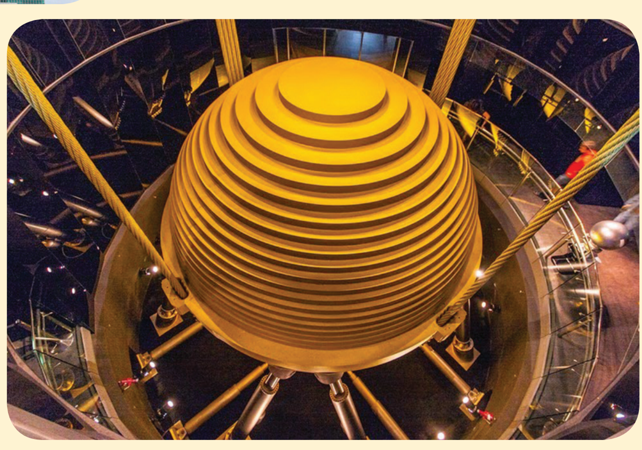
- إنّ الطاقة الميكانيكيّة للنوّاس الثقليّ البسيط ثابتةٌ بإهمال القوى المبدّدة للطاقة، إذْ يهتزُّ بسعة زاويّة ثابتة θ_{max} إلى جانبَي موضع توازنه الشاقوليّ.
- إنَّ الطاقة الميكانيكيّة هي مجموع الطاقتين الكامنة الثقاليّة، والحركيّة $E = E_k + E_p$.
حيث أنّ مبدأ قياس الطاقة الكامنة الثقاليّة هو المستوي الأفقيُّ المارُّ من مركز عطالة الكرة عند مرور النوّاس في وضع توازنه الشاقوليّ.

إثراء:



برجُ تايبيه في تايوان ... يبلغُ ارتفاعُه 509 m مؤلّف من 101 طبقة يقع على خطّ صدع زلزالي ويتعرّض لرياحٍ عاتيةٍ

وهذا يجعلُهُ يتأرجحُ، فعمدَ المهندسُ المسؤولُ عن تصميمه إلى بنائه بشكلٍ يشبهُ نباتَ الخيزُران، وثبّت بداخله بين الطبقة 87 والطبقة 92 كرةً عملاقةً من الفولاذ مربوطةً إلى أسلاك من الفولاذ القويّ كأنّها نوّاساً عملاقاً لتعمل على إخماد تأرجحِهِ عند الاهتزازات الناتجة عن الزلازل أو الرياح والأعاصير .... بفعل ما يُسمّى القصور الذاتيّ (أو العطالة).



تعلّمتُ

- **النّواسُ الثقليّ المركّب:** كلُّ جسمٍ صُلبٍ يهتزّ بتأثير ثقله في مستوٍ شاقوليّ حول محور دوران أفقيّ لا يمرُّ من مركز عطالته، وعموديّ على مستويه.
- حركةُ النّواس الثقليّ المركّب في حالة السّعات الصغيرة جيبيّة دورانيّة تابعُ مطالها الزاويّ من الشكل: $\overline{\theta} = \overline{\theta}_{max} \cos(\omega_0 t + \overline{\varphi})$
- يُعطى دورُ النّواس الثقليّ المركّب في حالة السّعات الصغيرة $\theta_{max} \leq 0.24 \text{ rad}$ بالعلاقة:

$$T_0 = 2\pi \sqrt{\frac{I_\Delta}{m\,g\,d}}$$

- **النّواسُ الثقليُّ البسيطُ:** نقطةٌ ماديّةٌ تهتزّ بتأثير ثقلها على بُعد ثابت l من محور أفقيّ ثابت
- يُعطى دورُ النّواس الثقليّ البسيط في حالة السّعات الصغيرة $\theta_{max} \leq 0.24 \text{ rad}$ بالعلاقة:

$$T_0 = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}$$

- يُعطى دورُ النّواس الثقليّ في حال السّعات الزاويّة الكبيرة $\theta_{max} > 0.24 \text{ rad}$ بالعلاقة:

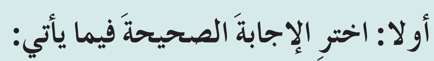
$$T'_0 \simeq T_0 \left[1 + \frac{\theta_{max}^2}{16}\right]$$

- إنَّ الطاقة الميكانيكيّة للنّواس الثقليّ هي مجموع الطاقتين الكامنة الثقاليّة والحركيّة

$$E = E_k + E_p$$




أختبر نفسي



أولا: اختر الإجابةَ الصحيحةَ فيما يأتي:

1. قمتَ بزيارةِ بيتِ جدّك، وطلبتْ إليك جدّتُك تصحيحَ الميقاتيّة المعلّقة على الجدار، وهي مؤلّفة من ساق منتهية بقرص قابل للحركة صعوداً أو هبوطاً، فاتّصلت بالساعة الناطقة فأشارت إلى السادسة تماماً عندما كانت الميقاتيّةُ تشيرُ إلى السادسة وخمسِ دقائقَ، ولتصحيح الوقت يجبُ:



a. إيقافُ الميقاتيّة، وخفضُ القرص بمقدار ضئيل ثمّ إعادة تشغيلها.

b. إيقافُ الميقاتيّة، ورفعُ القرص بمقدار ضئيل ثمّ إعادة تشغيلها.

c. تصحيحُ عقربِ الدقائق، وإعادتُه ليشيرَ الوقتُ إلى السادسة تماماً.

d. إيقافُ الميقاتيّة مدّة خمسِ دقائقَ، ثمّ إعادةُ تشغيلها مرّة أخرى.



2. ميقاتيّتان متماثلتان مضبوطتان عند سطح الأرض بالتوقيت المحلّيّ، نضع الأولى بالطابق الأرضيّ لناطحة سحاب، بينما نضع الثانية في الطابق الأخير، فإنّه بعد شهر مع ثبات درجة الحرارة:

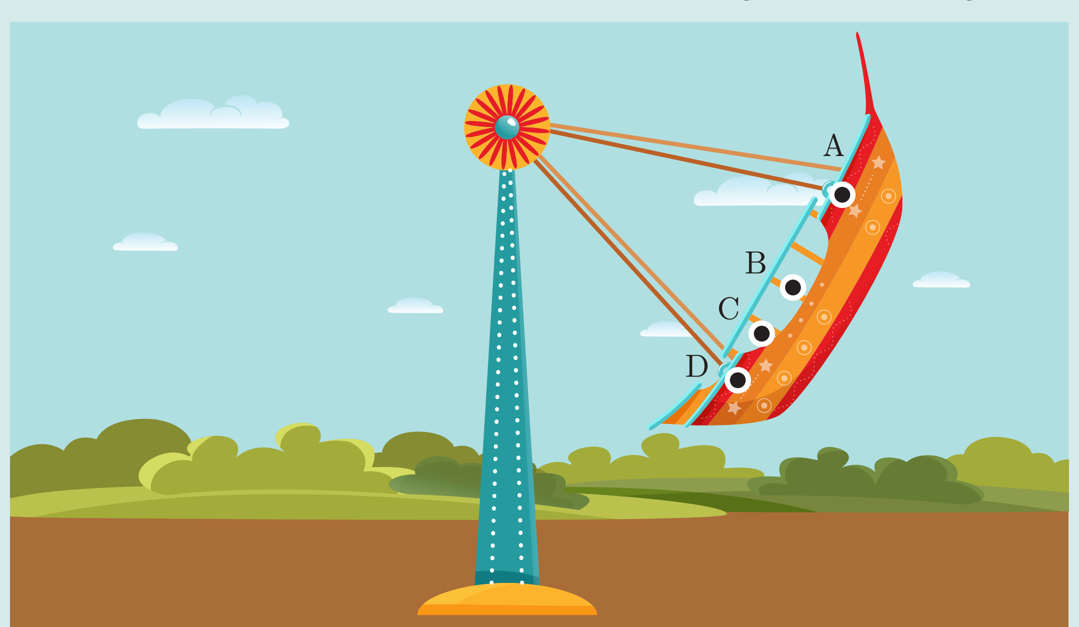
a. تشيران إلى التوقيت نفسِه.

b. تقدّمُ الثانية، ويجب تعديلُها.

c. تؤخرُ الثانية، ويجبُ تعديلُها.

d. تؤخرُ الأولى، ويجبُ تعديلُها

3. أرجوحةٌ كبيرةٌ نعدُّها نوّاساً ثقليّاً مركّباً كما هو موضّح بالشكل جانباً تهتزّ إلى جانبَي موضعِ توازنها بسعة كبيرة، ويجلس فيها أربعةُ أشخاص A, B, C, D :



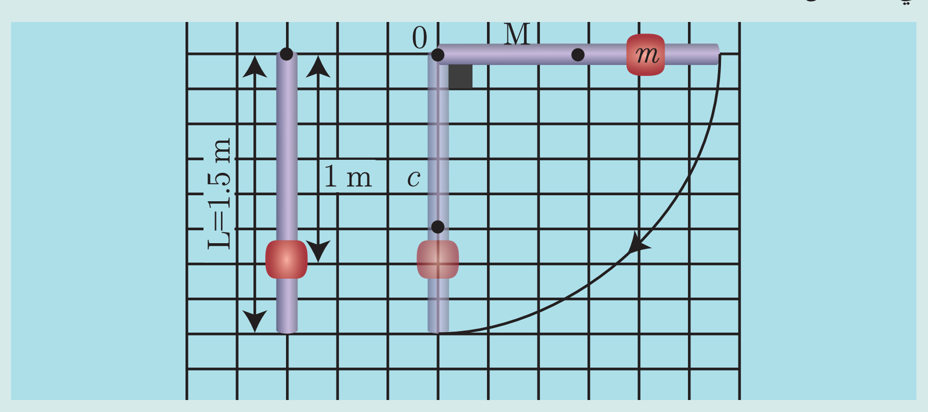
فالشخصُ الذي تكونُ سرعتُهُ الخطيّةُ أكبرَ ما يمكنُ عند المرور بوضع الشاقول هو:

a. الشخصُ B.　**b.** الشخصُ A.　**c.** الشخصُ C.　**d.** الشخصُ D.

ثانياً: حُلَّ المسائلَ الآتيةَ: **(في جميع المسائل $g = 10 m.s^{-1}$ ، $\pi^2 = 10$ ، $4\pi = 12.5$)**

المسألة الأولى:

يتألّفُ نوّاسٌ ثقليٌّ مركّبٌ من ساقٍ شاقوليّةٍ، متجانسةٍ، كتلتُها $M = 0.5\,kg$ ، طولُها $1.5\,m$ ، يمكنُها أنْ تنوسَ حولَ محورٍ أفقيٍّ مارٍّ من طرفها العلويّ، ومثبّت عليها كتلةٌ نقطيّة $m' = 0.5\,kg$ على بُعد $1\,m$ من هذا الطرف، كما في الشكل المجاور



المطلوب:

1. احسبْ دورَ هذا النوّاس في حالة السّعات الزاويّة الصغيرة.
2. نزيحُ جملة النوّاس عن موضع توازنها الشاقوليّ بزاوية $\frac{\pi}{2}\,rad$ ، ونتركُها دون سرعة ابتدائيّة. احسبِ الطاقةَ الحركيّة للنوّاس لحظة مروره بالشاقول، ثمّ احسب السرعة الخطيّة للكتلة النقطيّة m' عندئذٍ.
   (عزم عطالة ساق حول محور عموديّ على مستويها ومارّ من مركز عطالتها $I_{\Delta/c} = \frac{1}{12} M\,L^2$)

المسألة الثانية:

خيط مهمل الكتلة لا يمتط طوله $l = 40\,cm$ نعلق في نهايته كرة صغيرة نعدها نقطة مادية كتلتها $m_1 = 100\,g$

المطلوب:

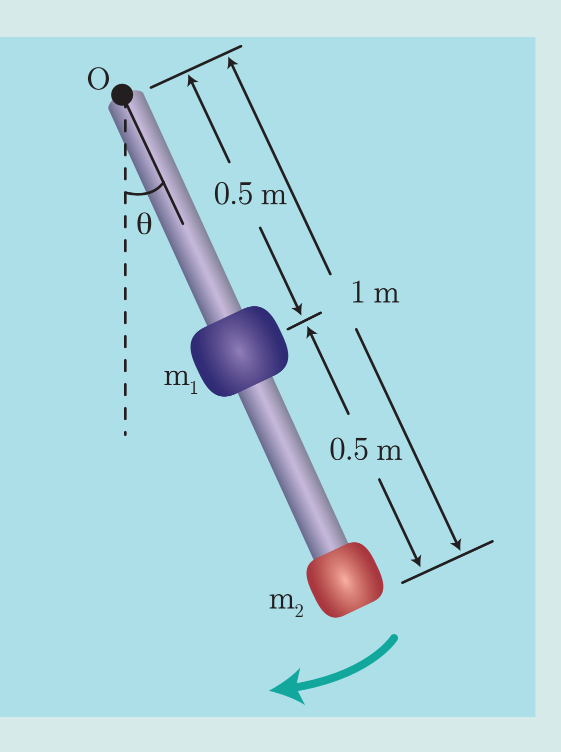
1. يحرف الخيط عن وضع التوازن بزاوية θ_{max} ونترك الكرة بدون سرعة ابتدائية فتكون سرعتها لحظة مرورها بالشاقول $v = 2\,m.s^{-1}$ استنتج قيمة الزاوية θ_{max}.
2. استنتج بالرموز علاقة توتر خيط النواس لحظة مروره بوضع الشاقول ثم احسب قيمته.

المسألة الثالثةُ:

نعلّقُ كرةً صغيرةً نعدُّها نقطةً ماديّةً، كتلتُها $m = 0.5\,kg$ بخيطٍ مهملِ الكتلة، لا يمتطُّ، طولُه $l = 1.6\,m$ ، لتؤلّفَ نوّاساً ثقليّاً بسيطاً، ثمّ نزيحُ الكرة إلى مستوٍ أفقيّ يرتفع $h = 0.8\,m$ عن المستوي الأفقيّ المارّ منها وهي في موضع توازنها الشاقوليّ، ليصنعَ خيطُ النوّاس مع الشاقول زاوية θ ، ونتركُها دون سرعة ابتدائيّة،

المطلوب:

1. استنتجْ بالرموز العلاقةَ المحدّدة لسرعة الكرة عند مرورها بالشاقول، ثمّ احسبْ قيمتها، موضّحاً بالرسم.
2. استنتجْ قيمةَ الزاوية θ ، ثمّ احسبْ قيمتها.
3. احسبْ دورَ هذا النوّاس.
4. استنتجْ بالرموز العلاقةَ المحدّدة لشدّة قوّة توتّر الخيط عند المرور بالشاقول، ثمّ احسب قيمتها.



المسألة الرابعة:

ساقٌ شاقوليّةٌ، مهملةُ الكتلة، طولُها $L = 1\,m$، نثبّت في منتصفها كتلةً نقطيّة $m_1 = 0.4\,kg$، ونثبّتُ في طرفها السفليّ كتلةً نقطيّة $m_2 = 0.2\,kg$، لتؤلّفَ الجملةُ نوّاساً ثقليّاً مركّباً يمكنُه أنْ ينوسَ في مستوٍ شاقوليٍّ حولَ محورٍ أفقيٍّ مارٍّ من الطرف العلويّ للساق.

المطلوب:

1. احسبْ دورَ نوساتِها صغيرةِ السّعة.
2. نزيحُ الجملة عن موضع توازنها بزاوية $\theta_{max} > 0.24\,rad$، ونتركُها دون سرعة ابتدائيّة، فتكونُ السرعةُ الخطيّةُ لمركز عطالة جملة النوّاس لحظةَ مرورها بالشاقول، $v = \frac{4\pi}{3\sqrt{3}}\,m.s^{-1}$ **المطلوب:**
   - a. احسبِ السرعةَ الخطيّة للكتلة النقطيّة m_2.
   - b. استنتجْ قيمةَ الزاوية θ_{max}.

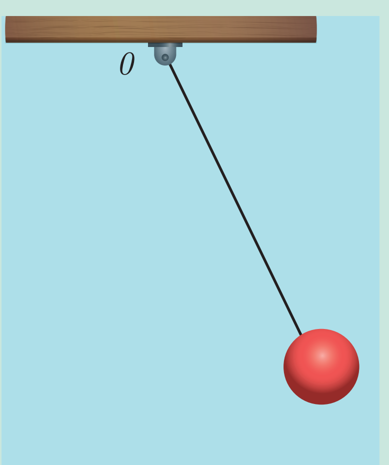
المسألة الخامسة:

يتألفُ نوّاسٌ ثقليٌّ من ساقٍ شاقوليّةٍ، مهملةِ الكتلة طولُها L، تحملُ في كلٍّ من طرفيها كتلةً نقطيّة m'، نعلّقُ الجملة بمحور دوران أفقيّ يبعد $\frac{L}{4}$ عن طرف الساق العلويّ، نزيحُ الجملة عن وضع توازنها الشاقوليّ بزاوية $\frac{1}{2\pi}\,rad$، ونتركُها دون سرعة ابتدائيّة في اللحظة $t = 0$، فتهتزّ بدور خاصّ $T_0 = 2.5\,s$.

المطلوب:

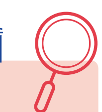
1. استنتجِ التابعَ الزمنيّ للمطال الزاويّ لحركة هذا النوّاس انطلاقاً من شكله العامّ.
2. استنتجْ بالرموز العلاقة المحدّدة لطول الساق، ثمّ احسب قيمته.
3. احسبْ قيمة السرعة الزاويّة العُظمى للحركة (طويلة).
4. لنفرضْ أنّه في إحدى النّوْسات انفصلتِ الكتلةُ السفليّةُ عن الساق، استنتج الدورَ الخاصَّ الجديد للجملة في حالة السّعات الزاويّة الصغيرة.

تفكير ناقد



من المعلوم أنه في حالة انعدام الثقل الظاهري ضمن المحطة الفضائية:

1. لدينا كرة كتلتها m معلقة بخيط مهمل الكتلة طوله l كما هو موضح بالشكل جانباً لتشكل نواساً بسيطاً عند سطح الأرض ما قيمة الدور على متن المحطة الفضائية مع التعليل.
2. كيف يمكن جعله يهتز بحركة جيبية توافقية بسيطة؟



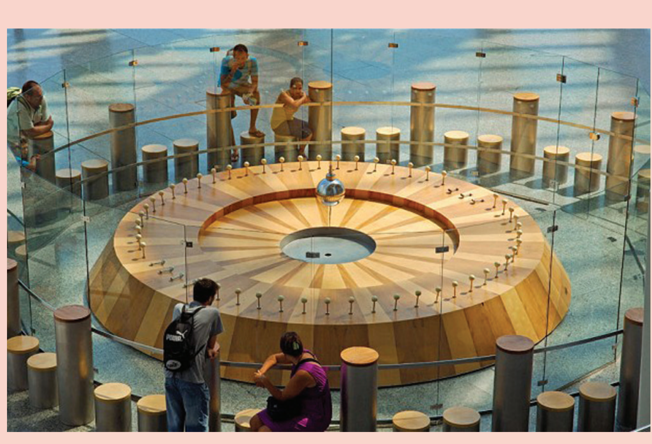
أبحث أكثر



نواس فوكو

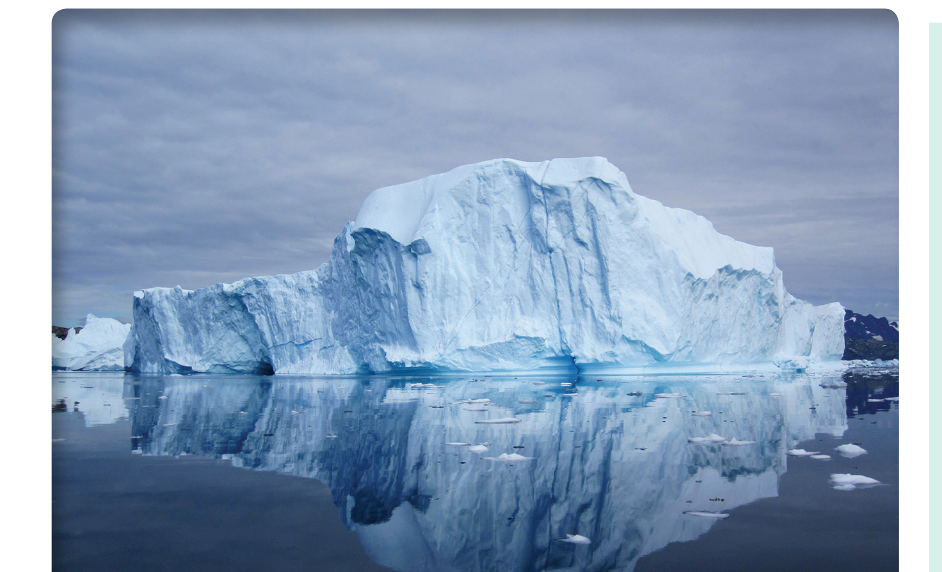
صمم الفيزيائي الفرنسي ليون فوكو تجربة لتقديم إثبات علمي بسيط لحقيقة دوران الأرض حول محورها.

ابحث عبر الشابكة حول ذلك.





4 ميكانيكُ الموائعِ



للموائع دورٌ حيويٌّ في حياتنا، فتدورُ في أجسامنا عبر الأوردة والشرايين، وتطفو السفنُ على سطحها وتطيرُ فيها الطائراتُ، وتتحرّكُ في محركات السيارات وأجهزة التكييف.

ما المقصودُ بالمائع؟ وما القوانينُ التي تحكمُ حركتها؟

الأهداف:

* يتعرّفُ المائعَ المثاليّ.
* يتعرّفُ خطَّ الانسياب.
* يتعرّفُ أنبوبَ التدفّق.
* يميّزُ بينَ الجريان المنتظم والجريان غير المنتظم.
* يرسمُ خطوطَ الانسيابِ في الجريان المنتظم، وفي الجريان غير المنتظم.
* يوضّحُ خصائصَ المائع المثاليّ.
* يتعرّفُ معدلَ التدفّق.
* يستنتجُ معادلةَ الاستمراريّة.
* يستنتجُ معادلةَ برنولي.
* يتعرّفُ تطبيقاتِ ميكانيك الموائع في حياته اليوميّة.

الكلمات المفتاحية:

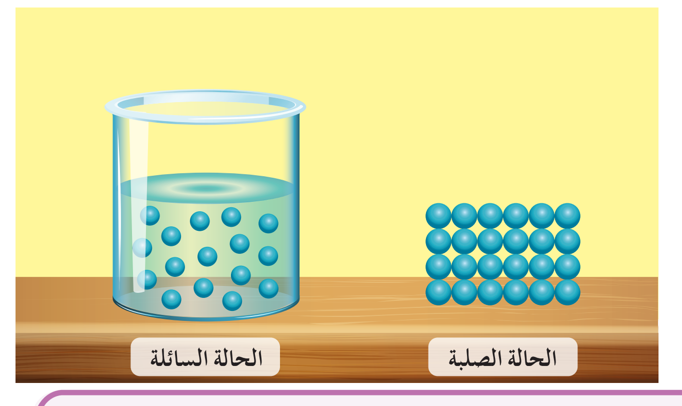
* المائع المثاليّ
* خطّ الانسياب
* الجريان المنتظم
* الجريان غير المنتظم
* معدل التدفّق
* معادلة الاستمراريّة
* معادلة برنولي
* نظريّة تور يشيلي
* قوّة الرفع

المائعُ:

نشاط (1):

ألاحظُ الشكل جانباً:

1. أميّزُ بين قوى الترابط بين الجزيئات في الحالة السائلة والصلبة؟
2. أفسّرُ قدرة السوائل على حريّة الحركة والجريان.
3. أفسّرُ قدرة الغازات على إشغال كامل حجم الوعاء الذي يحتويها.





أستنتج

- **تتميّزُ السوائل والغازات بقوى تماسك ضعيفة نسبيّاً بين جزيئاتها، فهي لا تحافظُ على شكلٍ معيّن، وتتحرّكُ جزيئاتُها بحيث تأخذُ شكل الوعاء الذي توضع فيه، وهي تستجيبُ بسهولة للقوى الخارجيّة التي تحاولُ تغييرَ شكلها، لذلك تُسمّى السوائلُ والغازاتُ بالموائع.**

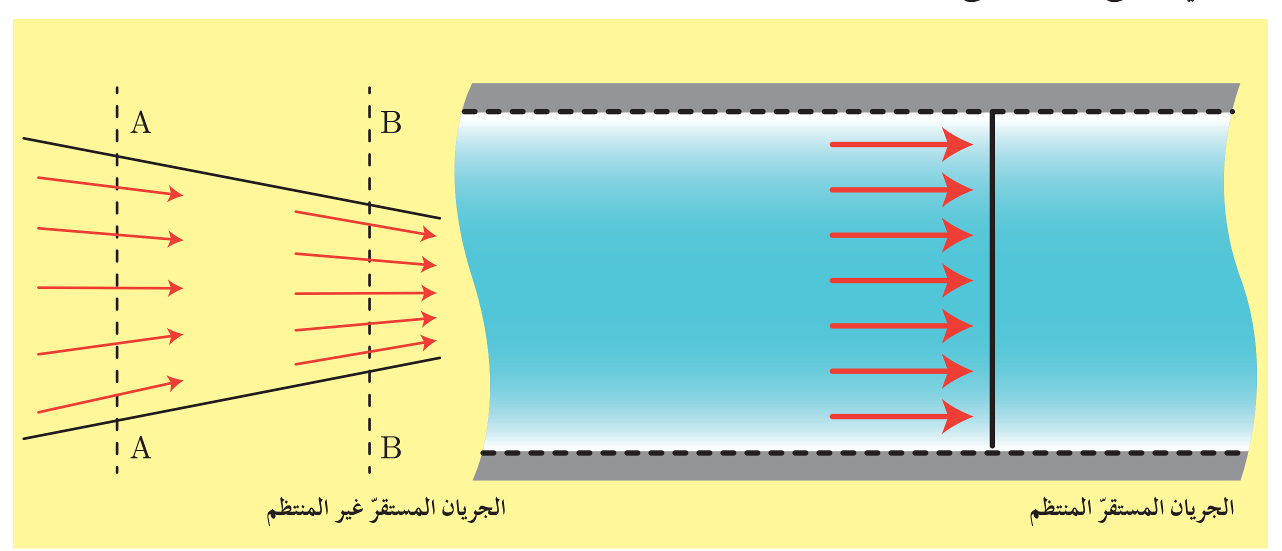
الخصائصُ الميكانيكيّة للموائع المتحرّكة:

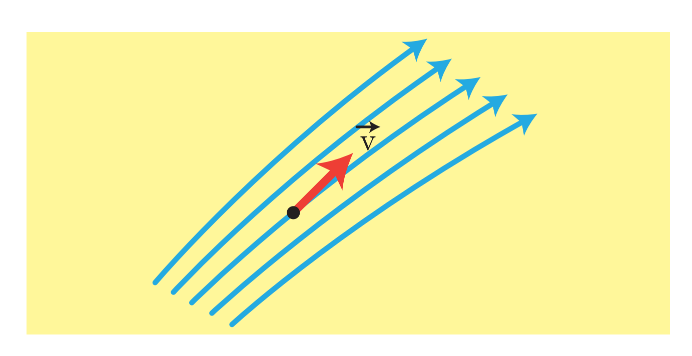
تتميّزُ الموائعُ بقدرتها على الجريان بتأثير قوى خارجيّة، ولوصف حركتها عند لحظةٍ ما يجبُ معرفةُ كثافةِ المائع، وضغطِه، وسرعتِه، ودرجةِ حرارتِه، ولتسهيلِ دراسةِ الموائع فإنّنا ندرسُ جسيمَ المائع وهو جزءٌ من المائع أبعادُهُ صغيرةٌ جدّاً بالنسبة لأبعاد المائع وكبيرةٌ بالنسبة لأبعادِ جزيئات المائع.

تعاريفُ أساسيّةٌ

1. الجريانُ المستقرُّ

هو الجريانُ الذي تكونُ فيه سرعةُ جسيمات المائع ثابتةً مع مرور الزمن في النقطة نفسِها من خطّ الانسياب، فإذا تغيّرت السرعةُ من نقطة إلى أخرى بمرور الزمن كان الجريان المستقرّ غيرَ منتظم، أمّا إذا كانت السرعةُ ثابتةً في جميع نِقاطِ المائع بمرور الزمن فإنّ الجريانَ المستقرَّ يكونُ منتظماً.





2. خط الانسياب (خطّ الجريان)

خطٌّ وهميّ يبيّنُ المسارَ الذي يسلكُهُ جسيمُ المائع أثناء جريانه ويمسُّ في كلّ نقطة من نقاطه شعاعَ السرعة في تلك النقطة.

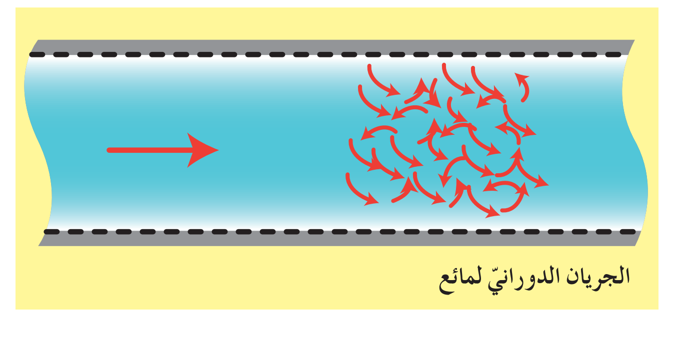
خطوط الأنسياب

3. أنبوبُ التدفّق

إذا أخذنا مساحةً صغيرةً عموديّة على اتّجاه جريان مائع جريانه مستقرّ، ورسمنا على محيط هذه المساحة خطوطَ الانسياب نحصلُ على أنبوبٍ وهميٍ يحتوي المائع يُدعى أنبوبَ التدفّق.



4. ميزاتُ المائع المثاليّ:



الجريان الدورانيّ لمائع

يتمتّع **المائع المثاليّ بالميزات** الآتية:

1. **غيرُ قابل للانضغاط:** كتلته الحجمية ثابتة مع مرور الزمن.
2. **عديمُ اللّزوجة:** قوى الاحتكاك الداخليّ بين مكوّناته مهملة عندما تتحرّك بالنسبة لبعضها البعض، وبالتالي لا يوجد ضياع للطاقة.
3. **جريانُه مستقرّ:** أي أنّ حركة جسيماته لها خطوطُ انسياب محدّدة وسرعة جسيماته عند نقطة معيّنة تكونُ ثابتةً بمرور الزمن.
4. **جريانُه غيرُ دورانيّ:** لا تتحرّك جسيماتُ السائل حركة دورانيّة حول أيّ نقطة في مجرى الجريان.

معادلة الاستمراريّة

أجرب وأستنتج:

لإجراء التّجربة احتاج إلى: مِحقنٌ بلاستيكيٌّ ذو مِكبسٍ قابل للحركة، إبرةٌ معدِنيّةٌ قابلةٌ للتثبيت بطرفِ المِحقن، ماءٌ، كوبٌ زجاجيّ.



خطوات التجربة:

1. أُثبّتُ الإبرة المعدِنيّة بالمحقن البلاستيكيّ.
2. أضعُ قليلاً من الماء في الكوب الزجاجيّ.
3. أضعُ رأس الإبرة في كوب الماء وأسحبُ المكبس، ماذا ألاحظ؟

4. أسحبُ الإبرة من كوب الماء، وأدفعُ المكبس ببطء، وأراقبُ سرعة تدفّق الماء من رأس الإبرة، ماذا ألاحظ؟
5. أُعيدُ سحب الماء من الكوب بعد نزع الإبرة المعدِنيّة من مكانها، وأدفعُ المكبس بالقوّة السّابقة نفسِها، ماذا ألاحظ؟

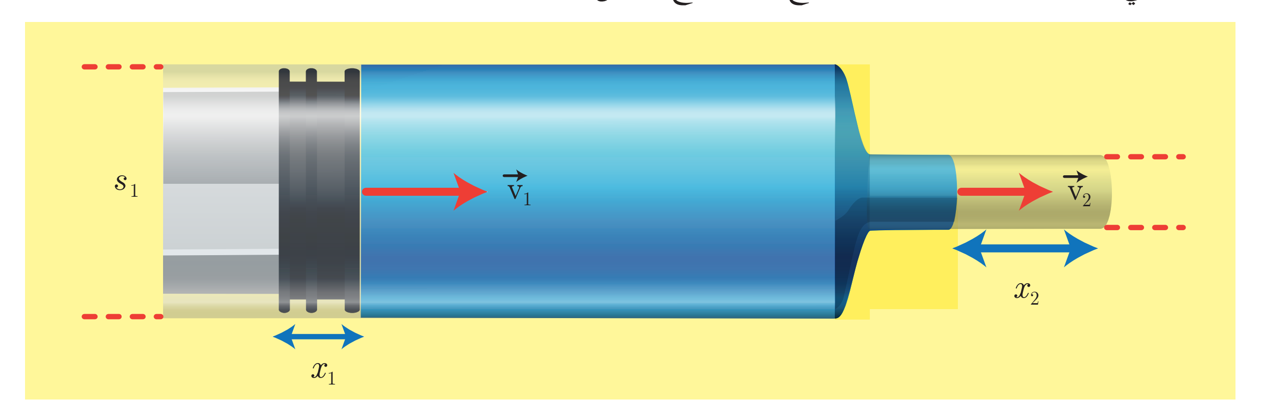


أستنتج

- **تزدادُ سرعةُ تدفّق المائع في أنبوب بنقصان مساحة مقطع الأنبوب.**
- **معدّلُ التدفّق الكتليّ Q لمائع هو كتلةُ كميّة المائع التي تعبُرُ مقطع الأنبوب في واحدة الزمن، ونعبّرُ عنه بالعلاقة $Q = \frac{m}{\Delta t}$، وتُقدّرُ في الجملة الدوليّة بواحدة $kg.s^{-1}$**
- **معدّلُ التدفّق الحجميّ Q' لمائع هو حجمُ كمية المائع التي تعبُرُ مقطع الأنبوب في واحدة الزمن، ونعبّرُ عنه بالعلاقة $Q' = \frac{V}{\Delta t}$، وتُقدّرُ في الجملة الدوليّة بواحدة $m^3.s^{-1}$**

الاستنتاجُ الرياضيّ لمعادلة الاستمراريّة

بافتراض مائع يتحرّك داخلَ أنبوبٍ مساحةُ كلٍّ من مقطعَي طرفيهِ تختلفُ عن الأخرى s_1، s_2، وكميّة المائع التي تدخلُ الأنبوب عند المقطع s_1 في مدّةٍ زمنيّة معيّنة تساوي كميّة المائع التي تخرج من المقطع s_2 للأنبوب في المدّة الزمنيّة نفسِها (المائع لا يتجمّع داخل الأنبوب ويملؤه تماماً، وجريانه مستمرّ):



بفرض أنّ v_1 سرعةُ المائع عبر المقطع s_1، و v_2 سرعةُ المائع عبر المقطع s_2
إنّ حجمَ كميّة السائل التي تعبُرُ المقطع s_1 لمسافة x_1 في الزمن Δt يكون:

$$V_1 = s_1 x_1$$

لكن:

$$x_1 = v_1 \Delta t$$

$$V_1 = s_1 v_1 \Delta t$$

وحجم كميّة السائل التي تعبرُ المقطع s_2 لمسافة x_2 في الزمن Δt يكون:

$$V_2 = s_2 x_2$$

لكن:

$$x_2 = v_2 \Delta t$$

$$V_2 = s_2 v_2 \Delta t$$

وبما أنّ حجم كميّة المائع التي عبرت المقطع s_1 تساوي حجم كميّة المائع التي عبرت المقطع s_2 في المدّة الزمنيّة نفسِها فإنّ:



$$Q'_1 = Q'_2$$

$$\frac{V_1}{\Delta t} = \frac{V_2}{\Delta t}$$

$$\frac{s_1 v_1 \Delta t}{\Delta t} = \frac{s_2 v_2 \Delta t}{\Delta t}$$

$$s_1 v_1 = s_2 v_2$$

إذن: $\frac{v_2}{v_1} = \frac{s_1}{s_2}$

أيْ أنّ سرعةَ تدفّق المائع تتناسب عكساً مع مساحة مقطع الأنبوب الذي يتدفّق منه المائع.

وعموماً يمكنُنا أنْ نكتبَ: $Q' = s_1 v_1 = s_2 v_2 = \text{const}$

معادلةُ برنولي في الجريان المستقرّ

نشاط (1):

لإجراء النشاط احتاج إلى: خيوط، أنبوب بلاستيكيّ مقطعُه صغير طولُه حوالي $10\,\text{cm}$، ورقتان.

خطوات تنفيذ النشاط:

1. أعلّق كلّاً من الورقتين بخيط شاقوليّ، وأجعلهما متقابلتين.
2. أنفخ بينهما بقوّة بواسطة الأنبوب، ماذا ألاحظ؟



- **ينقصُ ضغطُ المائع كلّما ازدادت سرعتُه.**

نشاط (2):

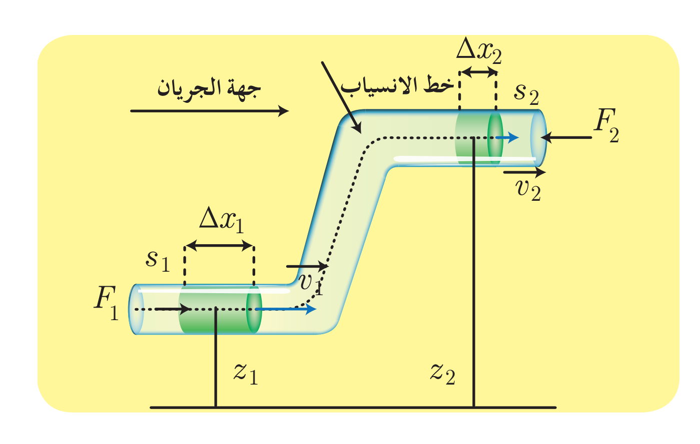
في الشكل المجاور سائلٌ جريانُه مستقرّ عبر أنبوب أفقيّ ذي مقاطعَ مختلفة،

أتساءلُ، وأجيبُ:

- أفسّرُ سببَ اختلاف ارتفاع سويّة السائل في الأنابيب الشاقوليّة عند النقاط a, b, c.
- عند أيّ النقاط تكونُ سرعةُ جسيم السائل أكبر؟
- من أين تأتي الزيادة في الطاقة الحركيّة لجسيم السائل عند المرور بالنقطة b؟ وأين تذهبُ تلك الطاقة عند النقطتين c, a علماً أنّ النقاط a, b, c تقع في المستوي الأفقيّ نفسِه؟
- تجيبُ عن هذه التساؤلات نظريّةُ برنولي التي تربطُ بين الضغط وسرعة الجريان والارتفاع عند أيّ نقطة من مجرى سائلٍ مثاليّ، وتنصُّ على:

- **إنّ مجموعَ الضغط والطاقة الحركيّة لواحدة الحجوم، والطاقة الكامنة الثقاليّة لواحدة الحجوم تساوي مقداراً ثابتاً عند أيّ نقطة من نقاط خطّ الانسياب لمائع جريانُهُ مستقرٌّ**

الاستنتاجُ الرياضيُّ لمعادلة برنولي



عندما تمرُّ كميّةٌ صغيرةٌ من السائل بين مقطعين حيثُ مساحةُ المقطع الأوّل s_1، والضغطُ عنده p_1، وسرعةُ الجريان فيه v_1، والارتفاعُ عن مستوٍ مرجعيّ z_1 ومساحةُ المقطع الثاني s_2، والضغطُ عنده p_2، وسرعةُ الجريان فيه v_2، والارتفاعُ عن المستوي المرجعيّ z_2.

إنّ العمل الكلّيّ المبذول لتحريك كتلة السائل من المقطع الأول إلى المقطع الثاني يساوي مجموع عمل قوّة الثقل، وعمل قوّة ضغط السائل.

عملُ قوّة الثقل $W_w = -mg(z_2 - z_1)$

عملُ قوّة ضغط السائل

يتأثّر سطحُ المقطع s_1 بقوّة F_1 لها جهةُ الجريان، وتنتقلُ نقطةُ تأثيرها مسافةً قدرُها Δx_1 في مدّةٍ زمنيّة Δt فتقوم بعملٍ محرّكٍ (موجب)

$$W_1 = F_1 \Delta x_1$$

لكن: $F_1 = P_1 s_1 \Longrightarrow W_1 = P_1 s_1 \Delta x_1$

لكن: $s_1 \Delta x_1 = \Delta V \Longrightarrow W_1 = P_1 \Delta V$

حيث ΔV حجم كمية السائل التي تعبرُ المقطع s_1 في المدّة الزمنيّة Δt.

يتأثّرُ سطح المقطع s_2 بقوّة F_2 معيقة لجريان السائل، لها جهةٌ تعاكسُ جهةَ الجريان، وتنتقلُ نقطةُ تأثيرها مسافةً قدرُها Δx_2 في المدّة الزمنيّة Δt فتقوم بعملٍ مقاومٍ (سالب).

$$W_2 = -F_2 \Delta x_2$$

لكن: $F_2 = P_2 s_2 \Longrightarrow W_2 = -P_2 s_2 \Delta x_2$

لكن: $s_2 \Delta x_2 = \Delta V$

حيث ΔV حجم كميّة السائل التي تعبرُ المقطع s_2 في المدّة الزمنيّة Δt نفسِها، وهي تساوي حجم كميّة السائل التي تعبرُ المقطع s_1 في المدّة الزمنيّة Δt، وذلك لأنّ السائلَ غيرُ قابلٍ للانضغاط.

$$W_2 = -P_2 \Delta V$$

ويصبح العمل الكلّيّ:

$$W_T = W_w + W_1 + W_2$$

$$W_T = -mg(z_2 - z_1) + P_1 \Delta V - P_2 \Delta V$$

وبحسب مصونيّة الطاقة فإنّ:

$$W_T = E_{k_2} - E_{k_1} = \frac{1}{2} m v_2^2 - \frac{1}{2} m v_1^2$$

$$-mg(z_2 - z_1) + P_1 \Delta V - P_2 \Delta V = \frac{1}{2} m v_2^2 - \frac{1}{2} m v_1^2$$

لكن:

$$m = \rho \Delta V$$

$$P_1 + \frac{1}{2}\rho v_1^2 + \rho g z_1 = P_2 + \frac{1}{2}\rho v_2^2 + \rho g z_2$$

$$P + \frac{1}{2}\rho v^2 + \rho g z = \text{conset}$$

وهي معادلةُ برنولي التي تعبّرُ عن نظريّة برنولي، وهي أحدُ أشكال حِفظ الطاقة.
ومن الجديرِ بالذّكر أنّ المقدار $\rho g z$ يمثّل الطاقة الكامنة الثقاليّة (طاقة الوضع) لواحدة الحجوم من السائل، بينما يمثّل المقدار $\frac{1}{2}\rho v^2$ الطاقة الحركية لوحدة الحجوم من المائع، وبالتالي يجبُ أنْ يكونَ الضغطُ P طاقة واحدة الحجوم أيضاً وبذلك حتى تتناسق وحدات الكميّات الواردة في المعادلة، ويمكنُ أنْ نتحقّق من ذلك لو كتبنا واحدات الضغط إذْ نجدُ:

$$1\text{Pa} = 1\frac{\text{N}}{\text{m}^2} = 1\frac{\text{Nm}}{\text{m}^3} = 1\frac{\text{J}}{\text{m}^3}$$

حالة خاصّة: إذا كان الأنبوبُ أفقيّاً:

$$z_1 = z_2$$

$$P_1\frac{m}{\rho} + \frac{1}{2}mv_1^2 = P_2\frac{m}{\rho} + \frac{1}{2}mv_2^2$$

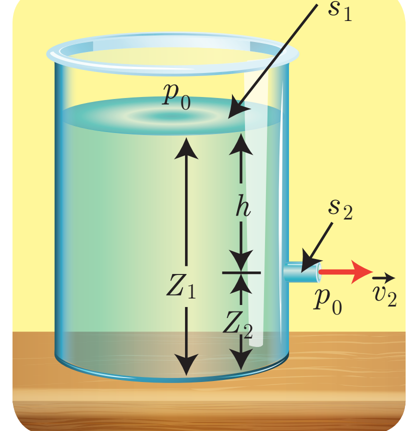
$$P_1 - P_2 = \frac{\rho}{2}(v_2^2 - v_1^2)$$

تطبيقاتٌ على معادلة برنولي:

1. سكونُ الموائع، ومعادلةُ المانومتر:

يمكنُ أنْ نحصلَ على معادلة المانومتر من معادلة برنولي بفرض أنّ المائعَ ساكنٌ في الأنبوب أيْ أنّ: $v_1 = v_2 = 0$
نعوّضُ في معادلة برنولي فنجدُ: $P_1 - P_2 = \rho g z_2 - \rho g z_1 = \rho g (z_2 - z_1) = \rho g h$
وهذه معادلةُ المانومتر (قانون الضغط في الموائع الساكنة).

2. نظريّة تورشيللي:



يحتوي خزّانٌ على سائل (مائع) كتلتُه الحجميّة ρ، مساحة سطحُ مقطعه s_1 كبيرة بالنسبة إلى فتحةٍ جانبيّةٍ مساحةُ مقطعها s_2 صغيرةٌ تقعُ قُربَ قعره وعلى عُمق $z_2 - z_1 = h$ من السطح الحرّ للسائل. ما السرعةُ التي يخرجُ بها السائلُ من الفتحة الجانبيّة؟
نطبّقُ معادلة برنولي على جزءٍ صغيرٍ من السائل انتقل من سطح الخزّان بسرعة $v_1 \simeq 0$ ليخرجَ من الفتحة s_2 إلى الوسط الخارجيّ بسرعة v_2:

$$P_1 + \frac{1}{2}\rho v_1^2 + \rho g z_1 = P_2 + \frac{1}{2}\rho v_2^2 + \rho g z_2$$

إنّ السّطح المفتوح، والفتحةَ معرّضتان للضغط الجويّ النظاميّ، ولذلك $P_1 = P_2 = P_0$

$$\frac{1}{2}v_1^2 + g z_1 = \frac{1}{2}v_2^2 + g z_2$$

وبما أنّ السرعة v_1 مهملة بالنسبة للسرعة v_2 نأخذ $v_1 \approx 0$

$$g z_1 = \frac{1}{2}v_2^2 + g z_2$$

$$\frac{1}{2}v_2^2 = g z_1 - g z_2$$

$$v_2^2 = 2g(z_1 - z_2) \Longrightarrow v_2 = \sqrt{2gh}$$

إنّ سرعةَ خروجِ السائلِ تساوي السرعةَ التي يسقطُ بها جسمٌ مائع سقوطاً حرّاً من ارتفاع h.
تُدعى العلاقةُ السابقةُ بنظرية تورشيللي، وتنطبقُ على أيّ فتحةٍ في الوعاء، سواءٌ في قعره كانت أم في جدارِهِ الجانبيّ.

3. أنبوبُ فنتوري:

يتألّفُ أنبوبُ فنتوري من أنبوب مساحةُ مقطعه s_1 يجري فيه سائلٌ بسرعة v_1 في منطقةٍ ضغطُها P_1 فيصلُ لاختناق مساحته s_2، ولمعرفة فرق الضغط بين الجذع الرئيسِ والاختناق نستعملُ أنبوبَ فنتوري.
نطبّقُ معادلة برنولي بين النقطتين 1 و 2 اللتين تقعان في المستوي الأفقيّ نفسِه.

$$P_1 + \frac{1}{2}\rho v_1^2 = P_2 + \frac{1}{2}\rho v_2^2$$

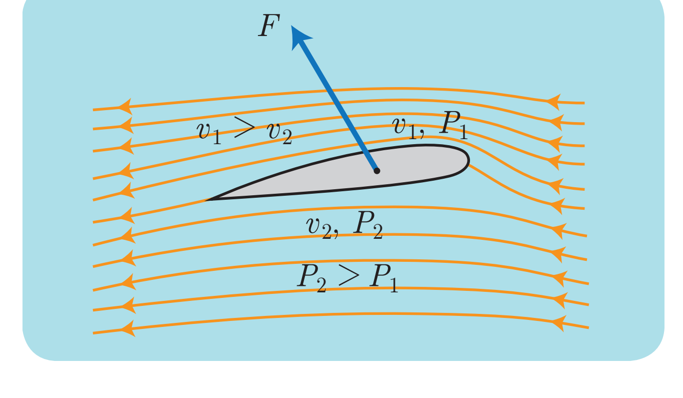
ولكن:

$$s_1 v_1 = s_2 v_2$$

$$P_1 - P_2 = \frac{1}{2}\rho\left[\left(\frac{s_1}{s_2}\right)^2 - 1\right] v_1^2$$

ويُقاسُ فرقُ الضغط بين نقطتين باستخدام جهاز قياس الضغط.
لدينا $s_1 > s_2$
إذن $P_1 > P_2$
أيْ أنّ الضغطَ في الاختناق أقلُّ من الضغطِ في الجذع الرئيس للأنبوب.
يُستفادُ من هذه الخاصية في الطّبّ، فقد تتناقصُ مساحةُ مقطع الشرايين في منطقةٍ ما نتيجةَ تراكم الدهون والشحوم، وهذا يعيقُ جريان الدّم في هذه الشرايين، ويتناقصُ ضغطُ الدّم في المقاطع المتضيّقة عن قيمته الطبيعيّة اللازمة لمقاومة الضغوط الخارجيّة.

4. جناحُ الطائرة وقوّةُ الرفع:



هل تساءلتَ كيف تطيرُ الطائرةُ؟
عندما تُقلعُ طائرةٌ فإنّ الهواء يندفعُ من حول جناحيها من الأعلى والأسفل بشكلٍ يماثلُ جريان سائلٍ في أنبوب، وتتكثّفُ خطوطُ الجّريان بحسب ميل الجناح وتصميمه بحيث تكونُ سرعةُ جريان الهواء من الأعلى أكبرَ ممّا هي عليه من الأسفل، وهذا يجعلُ الضغطَ من الأسفل أكبرَ منه في الأعلى، وينشأ فرقٌ في الضغطِ يؤدّي إلى رفع الطائرة للأعلى، تُسمّى قوّةُ فرق الضغط هذه بقوّة الرفع، وتناسبُ سرعةَ الطائرة، ففي الرحلات قصيرةِ المدى تُحلّق الطائراتُ على ارتفاع 8 km بسرعة $400\ km.h^{-1}$، أمّا في الرحلات بعيدة المدى فترتفعُ إلى 10 km لتحلّقَ بسرعة $800\ km.h^{-1}$.

5. أنبوبُ بيتوت:

يستعملُ أنبوبُ بيتوت لقياس سرعة جريان سائلٍ في منطقةٍ معيّنةٍ حيثُ يقيسُ المانومتر فرقَ الضغط بين نقطتين إذْ إنّ السرعةَ عندَ إحداهما معدومةٌ عمليّاً.

من معادلة برنولي نجدُ:

$$P_1 + \frac{1}{2}\rho v_1^2 = P_2$$

لكن: $P_2 - P_1 = \rho' g h$

حيثُ ρ' كثافةُ السائل في المانومتر.

من المعادلتين السابقتين نجدُ:

$$v_1 = \sqrt{\frac{2\rho' g h}{\rho}}$$

ولمّا كانت ρ', ρ معروفتين من قبلُ؛ يمكنُ معايرةُ الجهاز بحيثُ تقرأُ السرعة من معرفة الارتفاع h مباشرة.

تعلَّمتُ

- **الجريانُ المستقرُّ: هو الجريانُ الذي تكونُ فيه سرعةُ جسيم المائع وضغطُه وكثافتُه ودرجةُ حرارته مقاديرَ ثابتةً مع مرور الزمن في أيّ نقطة ثابتة نختارها في المائع**
- **خطُّ الانسياب: هو خطٌّ وهميّ يوضّحُ المسارَ الذي يسلكه جسيم المائح أثناء الجريان عندما ينتقلُ من نقطة الى أخرى أثناء الجريان.**
- **أنبوبُ التدفّق: أنبوبٌ وهميّ ينتج من اجتماع خطوط الانسياب المارة من منحنٍ مغلق داخل المائع.**
- **ميزاتُ المائع المثاليّ:**
- **غيرُ قابل للانضغاط: كتلته الحجمية ثابتة مع مرور الزمن.**
- **عديمُ اللّزوجة: قوى الاحتكاك الداخليّ بين مكوّناته مهملة عندما تتحرّك بالنسبة لبعضها البعض، وبالتالي لا يوجد ضياع للطاقة.**
- **جريانُه مستقرّ: أي أنّ حركة جسيماته لها خطوطُ انسياب محدّدة وسرعة جسيماته عند نقطة معيّنة تكونُ ثابتةً بمرور الزمن أي نسبة سرعات جسيمات المائع متساوية في نفس النقطة.**
- **جريانُه غيرُ دورانيّ: لا تتحرّك جسيماتُ السائل حركة دورانيّة حول أيّ نقطة في مجرى الجريان.**
- **معادلةُ الاستمرارية: تزدادُ سرعةُ المائع كلّما نقصت مساحةُ مقطع الأنبوب.**

  $$Q' = s_1 v_1 = s_2 v_2 = \text{const}$$
- **معادلة برنولي: إنّ مجموعَ الضغط والطاقة الحركيّة لواحدة الحجوم، والطاقة الكامنة الثقاليّة لواحدة الحجوم تساوي مقداراً ثابتاً عند أيّ نقطة من نِقاط خطّ الانسياب لمائعٍ جريانُه مستقرّ.**

$$P_1 + \frac{1}{2}\rho v_1^2 + \rho g z_1 = P_2 + \frac{1}{2}\rho v_2^2 + \rho g z_2$$

$$P + \frac{1}{2}\rho v^2 + \rho g z = \text{const}$$

أختبر نفسي

أولا: اخترِ الإجابةَ الصحيحةَ ممّا يأتي:

1. عندما تهبُّ رياحٌ أفقيّةٌ عند فوّهة مدخنة شاقوليّة فإنّ:

a. سرعةَ خروج الدخان من فوّهة المدخنة:

a. تزداد
b. تنقص
c. تبقى دون تغيّر
d. تنعدم

b. ويمكن تفسيرُ النتيجة وفقَ:

a. مبدأ باسكال
b. مبدأ برنولي
c. قاعدة أرخميدس
d. معادلة الاستمراريّة

2. يتّصف السائلُ المثاليُّ بأنّه:

a. قابلٌ للانضغاط وعديمُ اللزوجة.
b. غيرُ قابل للانضغاط ولزوجتُه غيرُ مهملة.
c. غيرُ قابل للانضغاط وعديمُ اللزوجة.
d. قابلٌ للانضغاط ولزوجتُه غيرُ مهملة.

3. خرطومٌ مساحةُ مقطعه عند فوّهة دخول الماء فيه s_1 وسرعةُ جريان الماء عند تلك الفوّهة v_1، فتكونُ سرعةُ خروج الماء v_2 من نهاية الخرطوم حيثُ مساحةُ المقطع $s_2 = \frac{1}{4} s_1$ مساويةً:

a. v_1
b. $\frac{1}{4} v_1$
c. $4\, v_1$
d. $16\, v_1$

ثانياً: أعطِ تفسيراً علميّاً باستخدام العلاقات الرياضيّة المناسبة لكلٍّ ممّا يأتي:

1. اختلافِ سرعةِ جريانِ الماءِ عبرَ مقاطعَ مختلفةِ المساحةِ في مجرى نهرٍ جريانُه أفقيٌّ.
2. اندفاعِ ستائرِ النوافذِ المفتوحةِ إلى خارجِ السيّارةِ عندما تتحرّك بسرعةٍ معيّنة.
3. عدمِ تقاطعِ خطوطِ الانسيابِ لسائلٍ.
4. ينقصُ مقطعُ عمودِ الماءِ المتدفّقِ من الخرطومِ عندما تُوجَّهُ فوّهتُهُ للأسفلِ، ويزدادُ مقطعُهُ عندما تُوجَّهُ فوهتُهُ رأسيّاً للأعلى.
5. يندفعُ الماءُ بسرعةٍ كبيرةٍ من ثقبٍ صغيرٍ حدَثَ في جدار خرطومٍ ينقلُ الماء.
6. تستطيعُ خراطيمُ سياراتِ الإطفاءِ إيصالَ الماء لارتفاعاتٍ ومسافاتٍ كبيرة.
7. تكونُ مساحةُ فتحاتِ الغازِ في موقدِ الغازِ صغيرةً؟
8. لجعلِ الماءِ المتدفّقِ من فتحةِ خرطومٍ يصلُ إلى مسافاتٍ أبعدَ نُغلقُ جزءاً من فتحةِ الخرطوم.
9. عندما تهبُّ الأعاصيرُ يُنصحُ بفتحِ النوافذِ في البيوت.

ثالثاً: حل المسائل الآتية:

المسألة الأولى:

لملْءِ خزّانٍ حجمُه $600\ L$ بالماء استُعمِلَ خرطومٌ مساحةُ مقطعِه $5\ cm^2$ فاستغرقت العمليّة $300\ s$.

المطلوب:

1. احسبْ معدّلَ التدفّق الحجميّ Q'.
2. احسبْ سرعة تدفّق الماء من فتحة الخرطوم.
3. كمْ تصبحُ سرعة تدفّق الماء من فتحة الخرطوم إذا نَقَصَ مقطعُها ليصبحَ رُبعَ ما كان عليه؟

المسألة الثانية:

ترفعُ مِضخّةٌ الماءَ من خزّانٍ أرضيٍّ عبرَ أنبوبٍ مساحةُ مقطعِه $s_1 = 10\ cm^2$ إلى خزّانٍ يقعُ على سطحِ بناء، فإذا علمتَ أنّ مساحةَ مقطعِ الأنبوب الذي يصبُّ في الخزّان العلويّ $s_2 = 5\ cm^2$، وأنّ معدّل الضخّ $Q' = 0.005\ m^3.s^{-1}$.

المطلوب:

1. احسب سرعةِ الماءِ عندَ دخولِه الأنبوبَ وعند فتحةِ خروجِه من الأنبوبِ.
2. احسب قيمةِ ضغطِ الماءِ عندَ دخولِه الأنبوبَ علماً بأنّ الضغطَ الجويّ $1 \times 10^5\ Pa$، والارتفاعَ بينَ الفوّهتين $20\ m$
3. احسب العمل الميكانيكي اللازم لضخ $100\ L$ من الماء إلى الخزان العلوي.

$$\rho_{H_2O} = 1000\ kg.m^{-3} \quad , \quad g = 10\ m.s^{-2}$$

المسألة الثالثة:

ينتهي أنبوبُ ماءٍ مساحةُ مقطعِه $10\ cm^2$ إلى رشّاش الاستحمام فيه 25 ثقباً متماثلاً مساحةُ مقطعِ كلِّ ثقبٍ $0.1\ cm^2$، فإذا علمتَ أنّ سرعةَ تدفّق الماء عبر الأنبوب $50\ cm.s^{-1}$.

المطلوب:

1. احسب معدّلِ التدفّق الحجميّ للماء
2. احسب سرعةِ تدفّق الماء من كلِّ ثقب.

المسألة الرابعة:

مِحقنٌ أسطوانيُّ الشكلِ مساحةُ مقطعِه $1.25\ cm^2$ مركّبٌ عليه إبرةٌ معدِنيّةٌ مساحة مقطعها $4 \times 10^{-4}\ cm^2$.

المطلوب:

1. احسب سرعةِ تدفقِ المحلولِ عبرَ مقطعِ المحقنِ عندما يكونُ معدّلُ التدفّق $5 \times 10^{-5}\ m^3.s^{-1}$
2. احسب سرعة تدفقِ المحلولِ لحظةَ خروجِهِ من فوّهةِ الإبرة.

المسألة الخامسة:

ثلاثةُ صنابيرِ ماءٍ، يملأُ الأوّلُ حَوضاً في ساعة، ويملأُ الثاني الحوضَ نفسَه في نصفِ ساعة، ويملأُ الثالثُ الحوضَ نفسَه في ربعِ ساعة، احسبِ الزّمنَ اللازمَ لملْءِ الحوضِ عندما تفتحُ الصنابيرُ الثلاثةُ معاً.

تفكير ناقد

أيّهما أكثر تقوساً السطح العلوي أم السطح السفلي لجناح الطائرة؟



أبحث أكثر

يزدادُ استهلاكُ السيّارة للوقود عندما تسيرُ بسرعةٍ عالية علماً أنها تقطعُ المسافةَ نفسَها بزمن أقلّ.

5 النسبيّةُ الخاصّةُ

الأهداف:

* يذكرُ فرضيّتي أينشتاين.
* يتعرّفُ تمدّدَ الزمن نتيجةً لفرضيّتي أينشتاين.
* يتعرّفُ تقلّصَ الأطوالِ نتيجةً لفرضيّتي أينشتاين.
* يتعرّفُ تكافؤَ الكتلة – طاقة.
* يستنتجُ توافقَ الميكانيكِ النسبيِّ مع الميكانيكِ الكلاسيكيِّ عندَ السُّرعاتِ الصغيرة جدّاً أمامَ سرعة الضوء في الخلاء.
* يتعرّفُ بعضَ تطبيقاتِ النسبيّةِ الخاصّة في الحياةِ اليوميّة.

الكلمات المفتاحية:



* جملة المقارنة
* نسبيّ
* سرعة الضوء في الخلاء
* تباطؤ الزمن، تقلّص الأطوال
* ميكانيكِ نسبيّ
* طاقة سكونيّة.



الكثيرُ من المقاديرِ الفيزيائيّةِ هي مقاديرُ نسبيّة، أيْ تختلفُ قيمتُها باختلافِ جملةِ المقارنة، لكنْ هل ينطبقُ ذلك على الزمن مثلاً؟ فهل يختلفُ زمنُ ظاهرةٍ ما باختلاف جملة المقارنة؟

وماذا عن الطول، والكتلة؟

فرضيّتا أينشتاين:

أتساءلُ، وأجيبُ:

- يُطلقُ شخصٌ متحرّكٌ سهماً بجهة حركتهِ، هل تختلفُ سرعةُ السهم بالنسبة للشخص الذي أطلق السهم عنها بالنسبة لمراقب آخرَ يقفُ ساكناً على الطريق؟
- لو أضاءَ شخصٌ متحرّكٌ مصباحاً بجهة حركته، هل تتوقّعُ أنْ تكونَ سرعةُ الضوء الصادر عن المصباح بالنسبة للشخص هي نفسَها تماماً بالنسبة لمراقبٍ ساكنٍ؟



أستنتج

- السرعةُ مفهومٌ نسبيٌّ يختلفُ باختلاف جملة المقارنة.
- سرعةُ انتشارِ الضوء ثابتةٌ في الوسط نفسِه مهما اختلفتْ سرعةُ المنبع الضوئيِّ، أو سرعةُ المراقب.

لقد حاول العالمان مايكلسون ومورلي دراسةَ الفرق بين سرعة شعاع ضوئيٍّ يُطلق بجهة دوران الأرض حول الشمس، وسرعة شعاع ضوئيٍّ مُعامدٍ له، في تجربتهما لإثبات وجود الأثير الذي كان يعتقدُ أنّه وسط انتشار الضوء، لكن التجربة أخفقتْ في إثبات ذلك؛ لأنّ سرعةَ انتشار الضوء كانت نفسَها في جميع الحالات.
إنّ تجربة مايكلسون- مورلي كانت من أسبابِ نجاح النظريّة النسبيّة لأينشتاين، الذي نفى وجود الأثير، وأكّد ثبات سرعة الضوء في وسطٍ محدّدٍ مهما اختلفت سرعَةُ المنبع الضوئيّ أو سرعةُ المراقب.

النتيجة:

سرعةُ انتشارِ الضوءِ في الخلاءِ هي نفسُها $c = 3 \times 10^{8} \mathrm{m.s^{-1}}$ في جميع جمل المقارنة، وهذه هي الفرضيّة الأولى لأينشتاين.

أفكر:

أُجريتْ تجربةَ حسابِ تسارع الجاذبيّة الأرضيّة بوساطة النوّاس الثقليّ البسيط في مخبر المدرسة، ثمّ كرّرتُ التجربة السابقة ضمن باصٍ يسيرُ بحركةٍ مستقيمةٍ منتظمة.

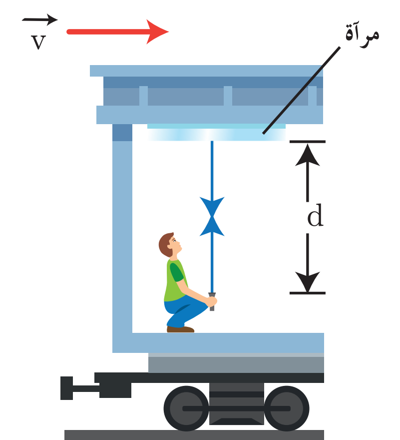
- هل ستختلفُ نتائجُ التجربتين؟
- هل ينطبقُ ذلك على جميع القوانين الفيزيائيّة؟



أستنتج

- القوانينُ الفيزيائيّة تبقى نفسَها في جميع جمل المقارنة العطاليّة، وهي الفرضيّة الثانية لأينشتاين.

تمدّدُ الزمن:



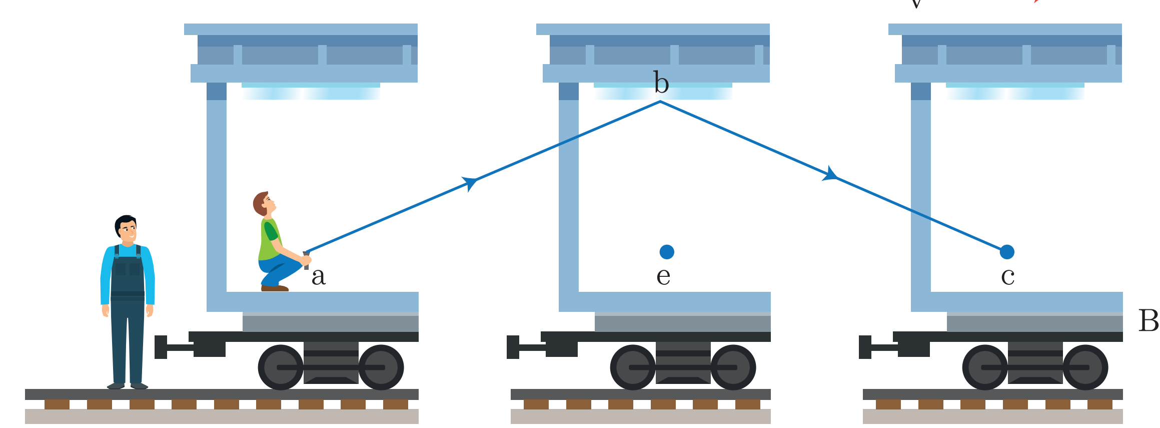
بفرضِ أنّ قطاراً يسيرُ بسرعةٍ ثابتةٍ v، مثبّتٌ على سقفِ إحدى عرباتِهِ مـرآةٌ مسـتويةٌ ترتفعُ مسافة d عـن منبـعٍ ضوئـيٍّ بيـدِ مراقـبٍ يقـفُ سـاكناً فـي العربـةِ ذاتِهـا، يرسـلُ المراقـبُ ومضـةً ضوئيةً باتّجـاه المـرآة، ويسـجّلُ الزمـن t_0 الذي تستغرقُه الومضةُ الضوئيّةُ للعودة إلى المنبع.

بعدِّ سرعةِ الشعاع الضوئيّ c يكون:

$$c = \frac{2d}{t_0}$$

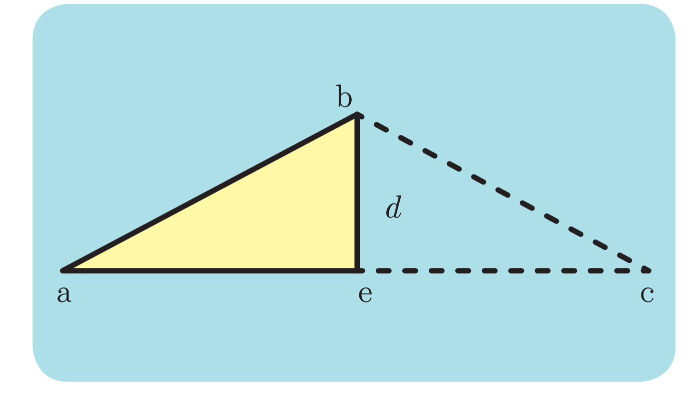
$$d = \frac{c\,t_0}{2} \,.........(1)$$

أمّـا بالنسـبةِ لمراقـبٍ خارجـيٍّ يقـفُ سـاكناً خـارجَ القطـار علـى اسـتقامةٍ واحـدةٍ مـع المنبـع الضوئـيّ لحظـةَ إصـدار الومضـة الضوئيّة فـإنّ الزمـن الـذي تسـتغرقُهُ الومضـةُ الضوئيّـةُ للعـودة إلـى المنبـع هـو t. فهـل $t_0 = t$؟



إنّ المسافة التي تقطعُها الومضةُ الضوئيّةُ للعودة إلى المنبع بالنسبة للمراقب الخارجيّ هي $(ab + bc)$.

لـو طبّقنـا هنـا الميكانيـك الكلاسـيكيّ لأضفنـا سـرعة القطـار v إلـى سـرعة الضـوء، لكـنْ وفـقَ النظريّـة النسـبيّة الخاصّـة فـإنّ سـرعةَ الضـوء لا تتغيّـرُ بتغيّـر المراقـب. فكيـف قطـع الضـوءُ مسـافة أكبـر بالسـرعة نفسـها؟



$$c = \frac{ab + bc}{t}$$

$$c = \frac{2ab}{t}$$

$$ab = \frac{c\,t}{2}$$

المنبعُ انتقلَ من النقطة a إلى النقطة c:

$$v = \frac{a\,c}{t}$$

$$v = \frac{2\,a\,e}{t}$$

$$a\,e = \frac{v\,t}{2} \,.........(3)$$

بتطبيقِ نظريّة فيثاغورث في المثلّث القائم abe نجدُ:

$$t = \frac{2\,d}{\sqrt{c^2 - v^2}} \,.........(4)$$

ومن العلاقة (1):

$$t_0 = \frac{2\,d}{c}\,.........(5)$$

بقسمة العلاقة (4) إلى (5) نجدُ:

$$\frac{t}{t_0} = \frac{c}{\sqrt{c^2 - v^2}}$$

$$\frac{t}{t_0} = \frac{c}{\sqrt{c^2\,(1 - \frac{v^2}{c^2})}}$$

ندعو النسبة: $\gamma = \frac{t}{t_0}$

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

$$\gamma = \frac{t}{t_0} > 1$$

$$t = \gamma t_0$$

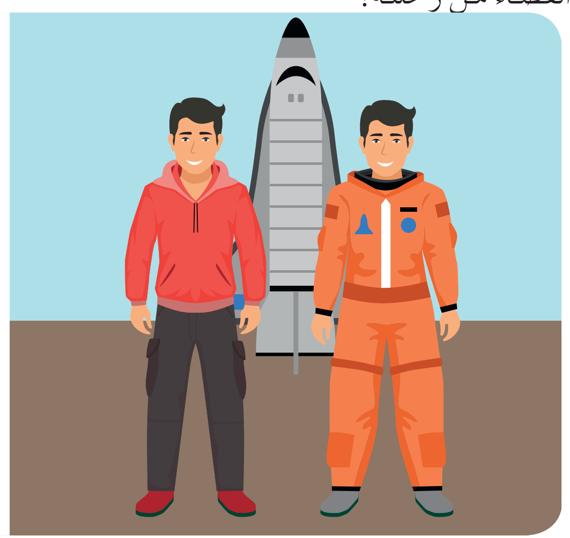


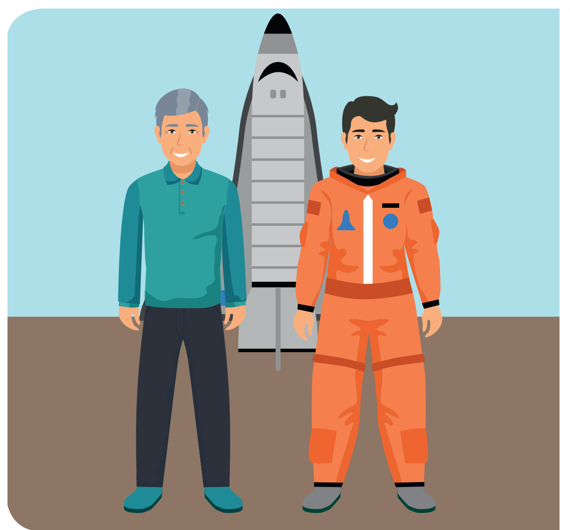
أستنتج

- يتمدّدُ (يتباطأ) الزمنُ عند الحركة.

تطبيق (مفارقة التوأمان):

بفرض أنّ أخوين توأمين أحدُهما رائدُ فضاءٍ طار بسرعةٍ قريبةٍ من سرعة الضوء في الخلاء $v = \frac{\sqrt{899}}{30}\,c$، وبقي رائدُ الفضاء في رحلته سنةً واحدةً وفق ميقاتيّةٍ يحملها، فما الزمنُ الذي انتظره أخوه التوأم على الأرض ليعود رائدُ الفضاء من رحلته؟





الحل:

الزمنُ الذي سجّلته الميقاتيّةُ التي يحملُها رائدُ الفضاء: $t_0 = 1\,year$

الزمنُ الذي سجّله المراقبُ الخارجيّ للرحلة (الأخ التوأم الذي بقي على الأرض): t

$$t = \gamma\, t_0$$

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{(\frac{\sqrt{899}}{30} c^2)}{c^2}}}$$

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{899}{900}}} = 30$$

$$t = 30 \times 1 = 30\, year$$

أي أنّ الأخَ التوأمَ انتظرَ ثلاثينَ عاماً حتى انتهت رحلةُ أخيه التوأمِ التي استغرقتْ بالنسبة له عاماً واحداً.

تقلّص الأطوال :

تخيّل مراقبَين؛ الأوّلُ في محطّةِ إطلاقٍ على الأرض، والثاني هو روبوت في مركبة فضاءٍ انطلقت من محطّةِ الفضاء نحو الشمس بسرعةٍ ثابتة بالنسبة للمراقب الأوّل.

تسجّلُ العدّاداتُ في المحطّة على الأرض الآتي:

المسافةُ بينَ الأرض والشمس L_0، الزمنُ الذي استغرقتهُ مركبةُ الفضاء في رحلتها t:

$$L_0 = v\, t$$

وتسجّلُ عدّاداتُ مركبةِ الفضاءِ المعطياتِ الآتية:

المسافةُ المقطوعةُ بين الأرض والشمس L، وزمنُ الرحلة t_0 فيكون: $L = v\, t_0$

بقسمة العلاقتين بعضِهما على بعضٍ نجدُ:

$$\frac{L_0}{L} = \frac{t}{t_0}$$

لكنّ الزمنَ الذي استغرقتْهُ رحلةُ المركبة الفضائيّة يتمدّدُ بالنسبة للمراقب الأوّل، أي:

$$t = \gamma t_0$$

$$\frac{L_0}{L} = \frac{\gamma t_0}{t_0}$$

$$L = \frac{L_0}{\gamma}$$

أمّا بالنسبةِ لطولِ المركبةِ الفضائيّة (وفق منحى سرعتها) فيعدُّ L بالنسبة للمراقب الأرضيّ في المحطّة لأنّ المركبة الفضائيّة متحرّكة بالنسبة له، ويعتبرُ L_0 بالنسبة للمراقب في المركبة الفضائيّة فيكونُ طولُ المركبة بالنسبة للمراقب الأرضيّ أقصرَ ممّا هو عليه بالنسبة لمراقب في المركبة.

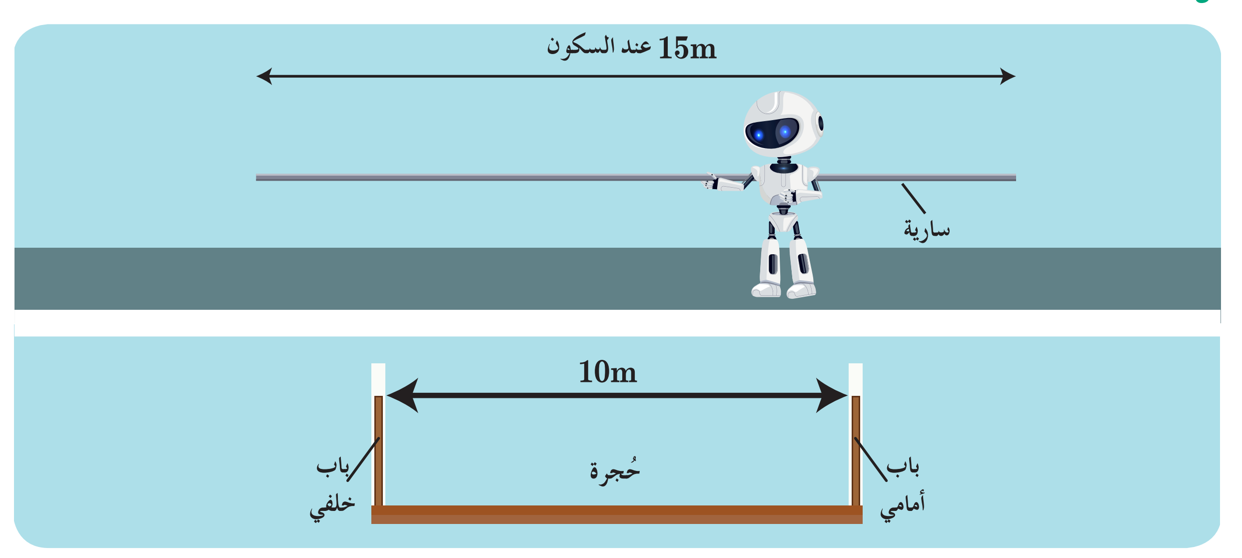


- يتقلّصُ (ينكمش) الطولُ عند الحركة.

تطبيق (السارية والحُجرة):

بفرض أنّ روبوتاً رياضيّاً يحملُ ساريةً أفقيّةً طولُها وهي ساكنة $15\,\text{m}$، يتحرّكُ بسرعةٍ أفقيّة $0.75\,c$ وأمامَه حُجْرةٌ لها بابانِ أماميٌّ وخلفيّ، البُعد بينهما $10\,\text{m}$، يمكنُ التحكّمُ بفتحهما، وإغلاقهما آنيّاً بالنسبة لمراقبٍ ساكن، هل يمكنُ أنْ تعبرَ الساريةُ الحُجرةَ بأمانٍ إذا أغلقَ المراقبُ الساكنُ البابين وفتحَهما آنياً (بالنسبة له) عندَ عبور الروبوت مع السارية للحُجرة؟ (نعدّ $\sqrt{0.4375} \approx 0.66$).

الحل:



يعُدُّ المراقبُ الساكنُ طولَ السارية المتحرّكة L وطولَها وهي ساكنة L_0 فيكون:

$$L = \frac{L_0}{\gamma}$$

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{(0.75\,c)^2}{c^2}}}$$

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{0.4375}} = \frac{1}{0.66}$$

نعوّضُ فنجدُ:

$$L = \frac{15}{\frac{1}{0.66}}$$

$$L = 9.9\,\text{m} < 10\,\text{m}$$

لذلك يمكنُ أنْ تعبرَ الساريةُ بأمان.

تكافؤ الكتلة - الطاقة:

الكتلةُ ثابتةٌ في الميكانيك الكلاسيكيّ من أجل السّرعات الصغيرة أمامَ سرعة انتشار الضوء في الخلاء، أمّا وَفقَ الميكانيك النسبيِّ فإنّ الكتلةَ تزدادُ بزيادة السّرعة، وتُعطى بالعلاقة:

$$m = \gamma m_0$$

حيثُ: m الكتلةُ عند الحركة، m_0 الكتلةُ عند السكون.

أتساءلُ:

- من أين أتتْ هذه الزيادةُ في الكتلة؟

$$\Delta m = m - m_0$$
$$\Delta m = \gamma m - m_0$$
$$\Delta m = m_0\left[\frac{1}{(1-\frac{v^2}{c^2})^{\frac{1}{2}}} - 1\right]$$
$$\Delta m = m_0\left[(1-\frac{v^2}{c^2})^{-\frac{1}{2}} - 1\right]$$

ووفقَ دستورِ التقريب: $(1+\overline{\varepsilon})^n \approx 1 + n\overline{\varepsilon}$، بعدِّ $\varepsilon \ll 1$ من أجلِ السّرعات الصغيرة يكونُ:

$$\Delta m = m - m_0 = m_0(1 + \frac{v^2}{2c^2} - 1)$$
$$\Delta m = m - m_0 = \frac{\frac{1}{2}m_0.v^2}{c^2}\,\ldots\ldots\ldots(1)$$
$$\Delta m = \frac{E_k}{c^2}$$



عندما يتحرّكُ الجسمُ تزدادُ كتلتُه بمقدارٍ يساوي طاقتَه الحركيّة مقسومةً على رقمٍ ثابت c^2، أي أنّ الكتلةَ تكافئُ الطاقة.

الطاقةُ الكليّة في الميكانيك النسبيّ

نضربُ العلاقة (1) بالثابت c^2 فنجدُ:

$$m.c^2 - m_0.c^2 = E_k$$
$$E = E_0 + E_k$$

النتيجة:

إنّ الطاقةَ الكليّةَ في الميكانيك النسبيّ هي مجموعُ الطاقة السكونيّة والطاقة الحركيّة.

إذْ:

الطاقةُ السكونيّة: $E_0 = m_0.c^2$

الطاقةُ الحركيّة: $E_k = E - E_0$

الطاقةُ الكليّة : $E = m\,c^2$

تطبيق (6):

يتحرّكُ إلكترون في أنبوبةٍ تلفاز بطاقة حركيّة 27×10^{-16} J

1. أحسبِ النسبةَ المئويّة للزيادة في كتلةِ الإلكترون نتيجة طاقتهِ الحركيّةِ
2. أحسبْ طاقتَه السكونيّةَ

علماً أنَّ: $m_e = 9 \times 10^{-31}$ kg , $c = 3 \times 10^8$ m.s^{-1}

الحل:

1.

$$E_k = m.c^2 - m_0.c^2$$
$$E_k = (m - m_0)\, c^2$$
$$m - m_0 = \frac{E_k}{c^2}$$
$$m - m_0 = \frac{27 \times 10^{-16}}{(3 \times 10^8)^2} = 3 \times 10^{-32} \text{ kg}$$

النسبة المئوية $= \frac{3 \times 10^{-32}}{9 \times 10^{-31}} \times 100 = 3.33\,\%$

2. طاقةُ الإلكترون السكونيّة:

$$E_0 = m_0.c^2$$
$$E_0 = 9 \times 10^{-31} \times (3 \times 10^8)^2$$
$$E_0 = 81 \times 10^{-15} \text{ J}$$

متى أُطبّق قوانينَ النسبيّة؟

إنّ أسرعَ وسيلةِ نقل للإنسانِ حاليّاً هي مكّوكُ الفضاءِ الذي تبلغُ سرعتُهُ تقريباً 27870 km.h^{-1}، أقارنُ هذه السرعةَ بسرعةِ الضّوء في الخلاء، هل تعدُّ قريبةً منها؟ فهل من المفيد تطبيقُ القوانين النسبيّة لدراسة حركة مكّوك الفضاء؟





أستنتج

- إنّ أثرَ النظريّة النسبيّة الخاصّة يُهملُ من أجل السّرعات الصغيرة بالنسبة إلى سرعة انتشارِ الضوءِ في الخلاء، وتؤوّل عندها العلاقاتُ الفيزيائيّةُ إلى شكلها الكلاسيكيّ.



أتساءلُ:

انطلاقاً من علاقاتِ الميكانيكِ النسبيّ هل يمكنُ التوصّلُ إلى العلاقاتِ المطبّقة في الميكانيك الكلاسيكيّ؟

من أجل السّرعات الصغيرة أمامَ سرعة الضوء في الخلاء أي $v \ll c$ فإنّ $\frac{v^2}{c^2} \ll 1$ ومنهُ:

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{(1-\frac{v^2}{c^2})}}$$

$$\gamma = (1-\frac{v^2}{c^2})^{-\frac{1}{2}}$$

$$\gamma = 1+\frac{v^2}{2c^2}$$

لنأخذْ على سبيلِ المثالِ علاقةَ الطاقةِ الحركيّة في الميكانيك النسبيّ:

$$E_k = E - E_0$$

$$E_k = (\gamma - 1)\, m_0 c^2$$

نعوّضُ عن γ فنجدُ: $E_k = \frac{1}{2} m_0 v^2$ وهي علاقةُ الطاقةِ الحركيّة في الميكانيك الكلاسيكيّ.

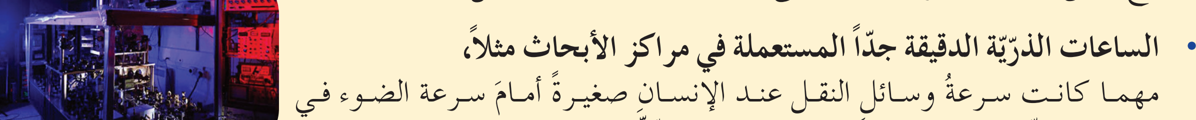
سؤال:

انطلاقاً من الميكانيك النسبيّ استنتج العلاقةَ المحدّدةَ لكميّة الحركة في الميكانيك الكلاسيكيّ.

إثراء:

النسبيّة في حياتنا اليوميّة

تحتاجُ بعضُ الدراساتِ والتطبيقات إلى النظريّة النسبيّة الخاصّة مثل:



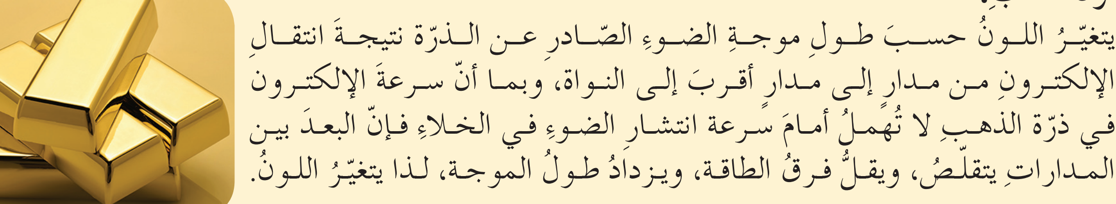
- **الساعات الذرّيّة الدقيقة جدّاً المستعملة في مراكز الأبحاث مثلاً،**
  مهما كانت سرعةُ وسائلِ النقل عند الإنسانِ صغيرةً أمامَ سرعة الضوء في الخلاء فأنّ ساعاتِ السيزيوم الذرّيّة من الدّقّة بحيثُ تلحظ التغيّرَ الزمنيَّ عند الحركة.



- **نظامُ تحديدِ المواقع GPS (Global−Position−system):**
  يعتمدُ نظامُ تحديدِ المواقع على عدّةِ أقمارٍ صناعيّةٍ ترسلُ وتستقبلُ أمواجاً كهرطيسيّة، وعند تطبيقِ قوانينِ الميكانيكِ الكلاسيكيّ فإنّ الخطأَ في تحديدِ الموقع قد يتجاوزُ 8 km في اليوم الواحد؛ لذلك يعتمدُ هذا النظامُ على القوانينِ النسبيّة لتكونَ القياساتُ دقيقةً.

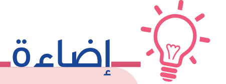


- **لونُ الذهب:**



  يتغيّرُ اللونُ حسبَ طولِ موجةِ الضوءِ الصّادرِ عن الذرّة نتيجةَ انتقالِ الإلكترونِ من مدارٍ إلى مدارٍ أقربَ إلى النواة، وبما أنّ سرعةَ الإلكترون في ذرّة الذهبِ لا تُهملُ أمامَ سرعة انتشارِ الضوءِ في الخلاءِ فإنّ البعدَ بين المدارات يتقلّصُ، ويقلُّ فرقُ الطاقة، ويزدادُ طولُ الموجة، لذا يتغيّرُ اللونُ.



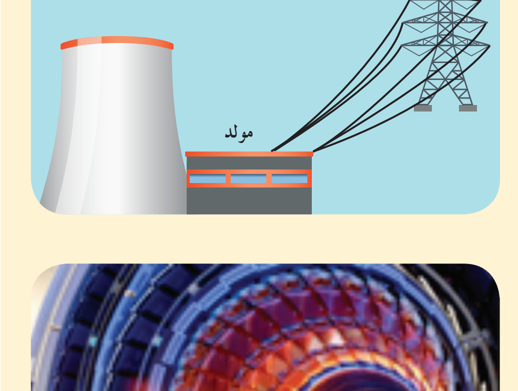


إضاءة

- قارنَ العالمان هافل، وكيتنج بينَ قياساتِ أربعِ ساعاتٍ ذرّيّةٍ في رحلةٍ على متنِ طائرةٍ نفّاثةٍ، وقياساتِ ساعاتٍ ذرّيّةٍ على الأرض مع مراعاة جميع الظروف، فتأكّدَ تمدّدُ الزمن، وتأكّدت تجريبيّاً الحساباتُ النظريّةُ للنسبيّة.

إثراء:

- إنّ ما تنبّأتْ به النظريّةُ النسبيّةُ الخاصّة من تكافؤ الكتلةِ والطاقةِ هو الذي أوصلَنا إلى استعمالِ الطاقةِ النوويّة وتفسيرِ نقصِ الطاقةِ في التفاعلاتِ النوويّةِ وتفسيرِ إشعاعِ الشمسِ والنجومِ



- تتحرّكُ أغلبُ الجسيماتِ الصغيرةِ بسرعةٍ قريبةٍ من سرعةِ انتشارِ الضوءِ في الخلاءِ، أو تُسرّعُ بالمسرّعاتِ لدراسةِ خصائصها، ولولا النسبيّةُ الخاصّة ما أمكنَ تحديدُ خصائصها بدقّة.



تعلَّمتُ

- **ينتشرُ الضّوءُ في الخلاء بالسّرعة نفسِها $c = 3 \times 10^8 m.s^{-1}$ في جميعِ جملِ المقارنة، وهذه هي الفرضيّة الأولى لأينشتاين.**
- **القوانينُ الفيزيائيّة تبقى نفسَها في جميعِ جملِ المقارنةِ العطاليّة، وهي الفرضيّة الثانية لأينشتاين.**
- **عندما يكونُ جسمٌ متحرّكاً بالنسبة لجملةِ مقارنةٍ فإنّ زمنَه يتمدّدُ وفقَ قياسِ جملةِ المقارنةِ تلك**

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} \ , \gamma > 1 \ , \ t = \gamma t_0$$

- **عندما يكونُ جسمٌ متحرّكاً بالنسبةِ لجملةِ مقارنةٍ فإنَّ طولَهُ يتقلّصُ وفقَ قياسِ جملةِ المقارنةِ تلك**

$$L = \frac{L_0}{\gamma}$$

- **عندما يكونُ جسمٌ متحرّكاً بالنسبةِ لجملةِ مقارنةٍ فإنّ كتلتَه تزدادُ وفقَ قياسِ جملةِ المقارنةِ تلك**

$$m = \gamma m_0$$

- **إنّ الطاقةَ الكليّة في الميكانيك النسبيّ هي مجموعُ الطاقة السكونيّة والطاقة الحركيّة.**
- **إذْ: الطاقة السكونيّة: $E_0 = m_0.c^2$ الطاقة الحركيّة: $E_k = E - E_0$ الطاقة الكليّة: $E_k = mc^2$**
- **تؤوّلُ العلاقاتُ في الميكانيك النسبيّ إلى العلاقات في الميكانيك الكلاسيكيّ من أجل السّرعات الصغيرة جدّاً أمامَ سرعة الضوء في الخلاء.**



أختبر نفسي

أولاً: اختر الإجابة الصحيحة في كل مما يأتي:

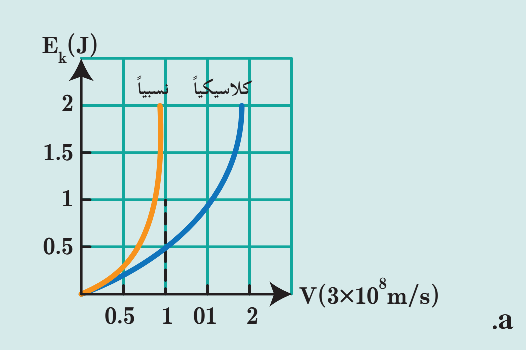
1. أفترضُ أنّ صاروخين في الخلاء يتحرّكُ كلٌّ منهما نحوَ الآخر بسرعةٍ قريبةٍ من سرعةِ انتشارِ الضوءِ في الخلاء، وفي لحظةٍ ما أضاء الصاروخُ الأوّلُ مصابيحَه، إنّ سرعةَ ضوء الصاروخِ الأولِ بالنسبةِ للصاروخ الثاني هي:

   a. c **b.** أكبر من c **c.** أصغر من c **d.** معدومة

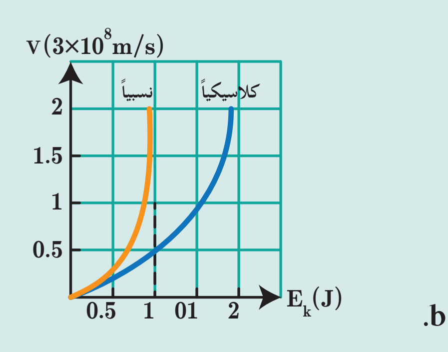
2. أفترضُ أنّ طاقمَ سفينةِ فضاءٍ تطيرُ بسرعةٍ قريبةٍ من سرعةِ انتشارِ الضوءِ في الخلاء يشاهدون تسجيلاً لمباراةِ كرةِ قدمٍ مدّتُها ساعةٌ ونصفٌ، ويتابعُهم مراقبٌ أرضيٌّ بتلسكوبٍ دقيقٍ جداً، فيرى مدّة المباراة:

   a. هي نفسها. **b.** أكبر **c.** أصغر **d.** معدومة

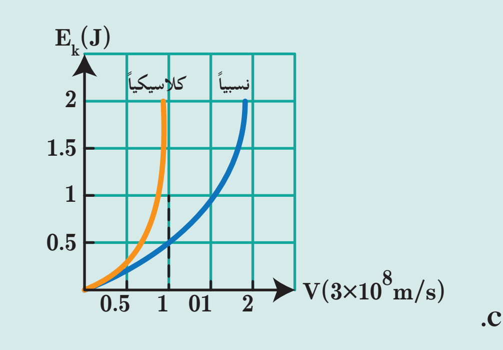
3. المنحني البيانيّ الذي يمثّل العلاقة بين الطاقة الحركيّة لجسمٍ ما، وسرعته هو:



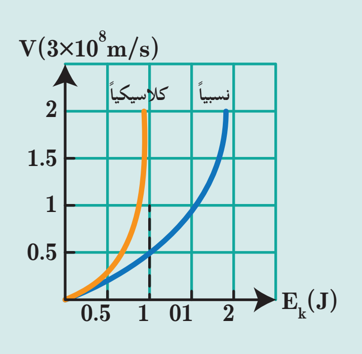
.a



.b



.c



.d

ثانياً: أجبْ عن السؤالين الآتيين:

1. يحاولُ العلماءُ عندَ دراستهم خصائصَ الجسيماتِ تحريكَها بسُرعاتٍ كبيرةٍ جداً باستخدام المسرّعات، هل يمكنُ أنْ تصلَ سرعةُ هذه الجسيماتِ إلى سرعةِ انتشارِ الضوءِ في الخلاء تماماً؟ لماذا؟
2. يقفُ جسمٌ ساكنٌ عند مستوٍ مرجعيّ (سطح الأرض مثلاً)، ما قيمةُ طاقتهِ الحركيّة عندئذٍ؟ وما قيمةُ طاقتهِ الكامنة الثقاليّة بالنسبة للمستوي المرجعيّ؟ هل طاقتُهُ الكليّةُ النسبيّة معدومة؟ ولماذا؟

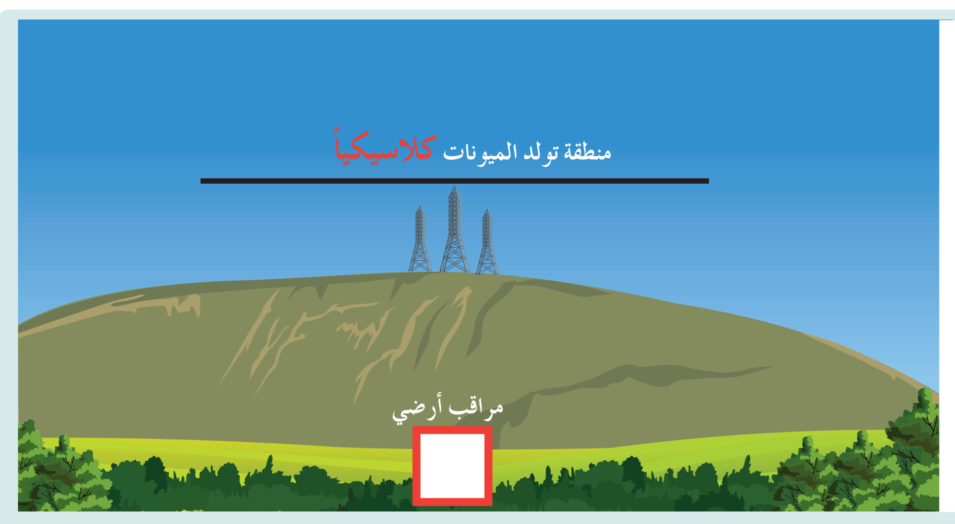
ثالثاً: حُلَّ المسائلَ الآتيةَ:

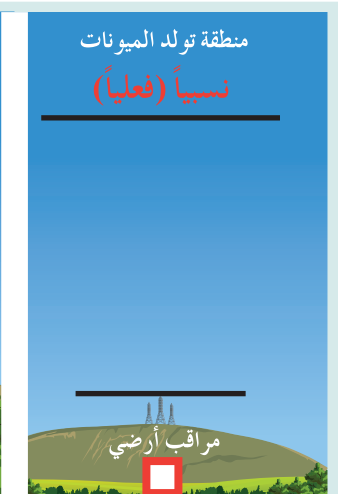
المسالة الأولى:

درسَ العلماءُ جسيماتِ الميونات (وهي جسيماتٌ أوليّة) في المختبر فوجدوا أنّها تتحلّلُ إلى جسيماتٍ أخفَّ منها خلالَ زمن $2.2\ \mu s$.

المطلوب:

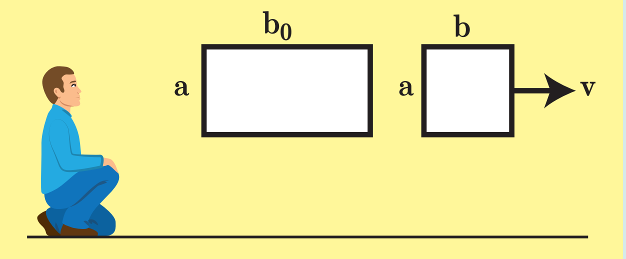
1. رصدت الميونات بدايةً قربَ سطح الأرض، أحسبْ أقصى ارتفاع عن سطح الأرضِ يمكنُ أن تكونَ قد تولّدت عنده وفق القوانين الكلاسيكيّة؟ إذا علمت أن سرعتها $0.995\ c$.
2. أرسلَ العلماءُ بعدئذٍ مناطيدَ تحملُ كواشفَ لهذه الميونات، فوجدوها على ارتفاعاتٍ أعلى بكثيرٍ من الارتفاع المحسوب كلاسيكياً، فأخذوا بعين الاعتبار تباطؤَ الزمنِ وفقَ النظريّة النسبيّة الخاصّة، احسبِ الزمنَ الذي تستغرقُهُ هذه الميونات في رحلتها وفق القوانين النسبيّة بالنسبة لمراقبٍ ساكنٍ على سطح الأرض. (باعتبار $\sqrt{0.009975} \approx 0.1$)، ثمّ احسبْ أقصى ارتفاع عن سطح الأرضِ (بالنسبة لمراقبٍ ساكنٍ على الأرض) يمكنُ أن تكونَ قد تولّدت عنده هذه الميونات.
3. حدّدْ زمنَ الرحلةِ ومسافتها اللذينِ يسجّلهما مراقبٌ إذا تحرّك مع هذه الميونات.





المسالة الثانية:

جسمٌ مستطيلُ الشكلِ طولُه وهو ساكن b_0 يساوي ضعفي عرضه a، يتحرّك هذا الجسمُ بحيث يكونُ طولُه موازياً لشعاع سرعته $\vec{v}$ بالنسبة لمراقبٍ في الجملة الساكنة، فيبدو له مربّعاً، احسبْ قيمةَ سرعة الجسم.



المسالة الثالثة:

يتحرّكُ إلكترونٌ بسرعة، $\frac{2\sqrt{2}}{3}c$

المطلوب: احسب كميّة حركةِ الإلكترون وفقَ قوانين الميكانيك الكلاسيكيّ، ثمّ وفقَ الميكانيك النسبيّ، أيُّهما الأصحُّ برأيك؟

المسالة الرابعةُ :

تبلغُ الكتلةُ السكونيّةُ لبروتون $mp = 1.67 \times 10^{-27}$ kg ، وطاقتُه الكليّة تساوي ثلاثةَ أضعافِ طاقتِهِ السكونيّة.

المطلوب: احسب كلٍّ من طاقته السكونيّة، وطاقته الحركيّة في الميكانيك النسبيّ، وكتلته في الميكانيك النسبيّ.



تفكير ناقد

في الميكانيك الكلاسيكي إذا تضاعفت كمية حركة جسيم ما فإنّ طاقته الحركية تزداد أربعة أضعاف، فهل يتحقق ذلك في الميكانيك النسبي؟ وضّح ذلك.



أبحث أكثر

تُطبّقُ النسبيّة الخاصّة (المقيّدة) في حالة انعدام التسارع، أبحثُ في النسبيّة العامّة وما قدّمته من تفسيرٍ للجاذبيّة الكتليّة.

الوحدة الثّانية
الكهرباءُ والمغناطيسيّة



القطار المغناطيسيّ قطارٌ يعملُ بقوّة الرَّفع المغناطيسيّة، أي أنّه يعتمدُ في عملِه بشكلٍ أساسيٍّ على المغناطيس، ويتميّزُ هذا القطارُ بأنّه لا يحتوي على مُحرّكاتٍ ميكانيكيّة ولا يستطيعُ السَّيرَ على القضبان الحديديّة، لذلك فهو يطفو في الهواءِ بالاعتمادِ على الوسادةِ المغناطيسيّة التي تعملُ على تشكيلِ حقول كهرومغناطيسيّة قويّة، وأكثرُ ما يميّزُ هذا النّوع من القطاراتِ أنَّ سرعته مُرتفِعةٌ جدّاً، ومن المعروفِ أنّه عندَ تقريبِ مغناطيسَين من بعضِهما البعضِ، فإنَّنا نلاحظُ حدوثَ التَّجاذُب بينَ الأقطابِ المُختلِفة، حيثُ يعملُ كلُّ مغناطيسٍ على توليدِ حقل مغناطيسيٍّ يؤثِّرُ به على المغناطيس الآخر، وبالتالي نستطيعُ تعليقَ الأشياء، وبناءً على ذلك تمَّ تطويرُ وتصنيعُ هذا النّوع من القطارات، ويتمُّ تصميمُ القطار المغناطيسيّ وفقاً لإحدى التقنيتَين، إمَّا نظام التّعليق الكهروديناميكيّ أو نظام التّعليق الكهرومغناطيسيّ.



1 المغناطيسيّة





الأهداف:

* يتعرّفُ عناصرَ شعاعِ الحقلِ المغناطيسيِّ في نقطةٍ من الحقلِ.
* يُحدِّدُ مفهومَ الحقلِ المغناطيسيِّ المنتظمِ.
* يتعرّفُ تجريبيّاً الحقلَ المغناطيسيَّ في الحديدِ.
* يستنتجُ علاقةَ عاملِ النفاذيةِ المغناطيسيِّ.
* يتعرّفُ المغناطيسيّةَ الأرضيّةَ.
* يُحدِّدُ عناصرَ شعاعِ الحقلِ المغناطيسيِّ الأرضيِّ.
* يُحدِّدُ عناصرَ شعاعِ الحقلِ المغناطيسيِّ المتولِّدِ عن التيّارِ الكهربائيِّ.
* يفسّرُ مغناطيسيّةَ الموادِّ.
* يتعرّفُ مفهومَ تدفّقِ الحقلِ المغناطيسيِّ

الكلمات المفتاحية:

* مغناطيسٌ نضويٌّ
* حقلٌ مغناطيسيٌّ
* شدّةُ الحقلِ المغناطيسيِّ
* نواةُ حديدٍ
* عاملُ النفاذيّةِ المغناطيسيِّ
* الحقلُ المغناطيسيُّ الأرضيُّ
* الأثرُ المغناطيسيُّ للتيّارِ الكهربائيِّ
* شعاعُ السّطحِ
* تدفّقُ مغناطيسيٌّ.

تأخذُ الظّواهرُ المغناطيسيّةُ أهميّةً متناميةً في حياتِنا اليوميّةِ فنجد أنّ سمّاعةَ الهاتفِ تحتوي مغناطيساً كما أنّ المولّداتِ الكهربائيّةِ والمحرّكاتِ الكهربائيّةِ البسيطةِ وأشرطةِ التسجيلِ ومشغلّاتِ الأقراصِ الصُّلبةِ داخلَ أجهزةِ الحاسوبِ جميعِها تعتمدُ على الآثارِ المغناطيسيّةِ، ويُستعملُ المغناطيسُ الكهربائيُّ أيضاً لرفعِ الكُتلِ الحديديّةِ الكبيرةِ.
فما المغناطيسُ؟ وما الموادُّ المغناطيسيّةُ؟ وما الموادُّ غيرُ المغناطيسيّةِ؟ وما الحقلُ المغناطيسيُّ؟ وما علاقتُهُ بالتيّارِ الكهربائيِّ؟

مفهومُ الحقل المغناطيسيِّ

أجرّب وأستنتجَ:

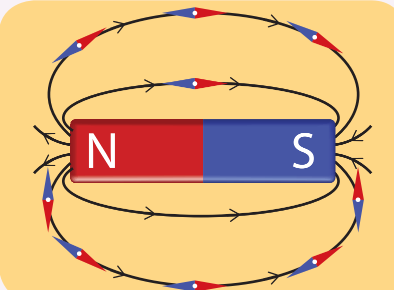
المواد اللازمة: حقيبة المغناطيسيّة.

خطوات التجربة:

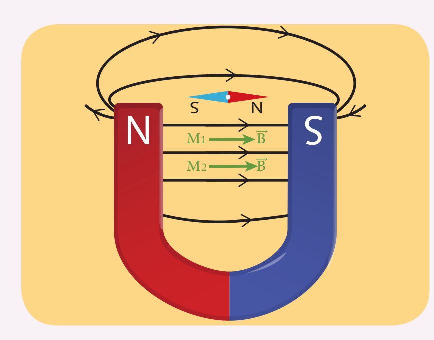
1. أضعُ علبةَ الأبرِ المغناطيسيّةِ بعيداً عن تأثيرِ أيّ مغناطيسٍ، وألاحظُ كيفَ تستقرُّ كلُّ إبرةٍ منها.
2. أرسمُ منحى استقرارِ كلٍّ منها.
3. أضعُ المغناطيسَ المُستقيمَ فوقَ علبةِ الأبرِ المغناطيسيّة، وألاحظُ استقرارَ كلَّ إبرة.
4. أرسمُ منحى الاستقرارِ الجديدِ للأبرِ المغناطيسيّة، وأحدّدُ الشّكلَ الذي أحصلُ عليه.
5. أُغيّرُ موضعَ المغناطيسِ فوقَ علبةِ الأبرِ بحيثُ يتّجهُ اتّجاهاتٍ مختلفةً، ماذا أُلاحظُ؟ ماذا أستنتجُ؟
6. أُبعدُ المغناطيسَ تدريجيّاً عن علبةِ الأبرِ المغناطيسيّة، وأُفسّرُ عودةَ الأبرِ إلى منحاها قبلَ وضعَ المغناطيسِ.
7. أُكرّرُ التّجربةَ باستخدامِ مغناطيسٍ نضويٍّ، وأقارنُ النّتائجَ، ماذا أستنتجُ؟

أستنتج

- **نقولُ: إنَّ منطقةً يسودُها حقلٌ مغناطيسيٌّ إذا وُضعَتْ فيها إبرةٌ مغناطيسيّةٌ حرّةُ الحركةِ، فإنّها تخضعُ لأفعالٍ مغناطيسيّةٍ.**



- **تأخذُ الإبرةُ المغناطيسيّةُ منحى واتّجاهاً معيّنين بتأثيرِ الحقلِ المغناطيسيِّ.**
- **تشكّلُ الخطوطُ التي ترسمُها الأبرُ المِغناطيسيّةُ ما يُسمّى بخطوطِ الحقلِ المغناطيسيِّ.**
- **خطُّ الحقلِ المِغناطيسيِّ هو خطٌّ وهميٌّ يَمَسُّ في كلِّ نقطةٍ من نِقاطِهِ شعاعَ الحقلِ المغناطيسيِّ في تلك النقطة.**



- **تتّجهُ خطوطُ الحقلِ المغناطيسيِّ خارجَ المِغناطيسِ من قطبهِ الشماليِّ إلى قطبهِ الجنوبيِّ، وتُكملُ دورتَها داخلَ المِغناطيسِ من القُطبِ الجنوبيِّ إلى القطبِ الشماليِّ.**
- **تأخذُ خطوطُ الحقلِ المِغناطيسيِّ بينَ قطبي المِغناطيسِ النضويِّ شكلَ خطوطٍ مستقيمةٍ متوازيةٍ، ولها الجهةُ نفسُها، ثمّ تنحني خارجَ قطبَي المغناطيس.**
- **يكونُ الحقلُ المغناطيسيُّ منتظماً إذا كانت أشعّةُ الحقلِ متوازيةً، ولها الشِّدّة نفسُها، والجهةُ ذاتُها (متسايرة فيما بينها).**

كيفَ يمكنُ تحديدُ عناصرِ شعاعِ الحقلِ المغناطيسيِّ $\vec{B}$ في نقطةٍ من الحقلِ؟

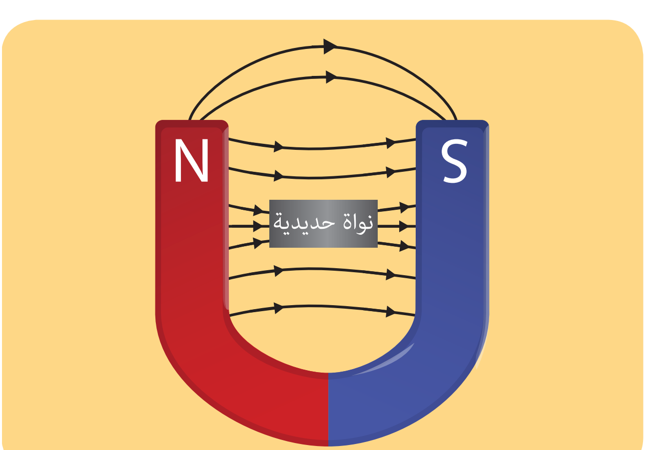
يمكنُ تحديدُ عناصرِ شعاعِ الحقلِ المغناطيسيِّ لمغناطيسٍ بوساطة إبرةٍ مغناطيسيّةٍ موضوعةٍ في النقطة المُرادِ تعيينُ شعاعِ الحقلِ المغناطيسيِّ $\vec{B}$ فيها بعدَ استقرارِها:

- **الحاملُ:** المستقيمُ الواصلُ بينَ قطبَي الإبرةِ المغناطيسيّة.
- **الجهةُ:** من القطبِ الجنوبيِّ للإبرة إلى قُطبها الشماليِّ.
- **الشِّدَّة:** تزدادُ بازديادِ سرعةِ اهتزازِ الإبرةِ المغناطيسيّةِ في تلك النقطةِ، وتقدّرُ في الجملة الدوليّة بواحدة التسلا T.

الحقلُ المغناطيسيُّ بوجود الحديد

تحتاجُ بعضُ الأجهزةِ الكهربائيّةِ كمكبّرِ الصّوتِ مثلاً إلى حقولِ مغناطيسيّةٍ شديدة، كيفَ يتمُّ تأمينُها؟

أجرّب وأستنتج:



المواد اللازمة: مغناطيسٌ نضويٌّ – برادةُ حديد – نواةٌ حديديّة – لوحٌ زجاجيّ.

خطوات التجربة:

1. أضعُ المغناطيسَ النضويّ على طاولة أفقيّة.
2. أضعُ اللّوحَ الزجاجيَّ فوقَ المغناطيس.
3. أنثرُ برادةَ الحديدِ بلطفٍ فوقَ اللّوحِ الزجاجيّ، وأنقرُ على اللّوحِ الزجاجيِّ نقراتٍ خفيفةً، ماذا أُلاحِظُ؟ أعلّلُ ذلكَ.
4. أكرّرُ التجربةَ بعدَ أنْ أضعَ بينَ قطبَي المغناطيسِ النواةَ الحديديّةَ، ماذا أُلاحِظُ؟



أستنتج

- **تتقاربُ برادةُ الحديدِ عند طرفَي النّواةِ الحديديّة، أي تتكاثفُ خطوطُ الحقلِ المغناطيسيّ ضمنَ النواةِ الحديديّة.**
- **تتمغنطُ نواةُ الحديد، ويتولّدُ منها حقلاً مغناطيسيّاً $\vec{B'}$ إضافيّاً يُضافُ إلى الحقلِ المغناطيسيّ الأصليّ الممغنط $\vec{B}$ فيشكّلُ حقلاً مغناطيسيّاً كليّاً $\vec{B}_t$.**
- **يُستفادُ من وضعِ النواةِ الحديديّة بينَ قطبَي المغناطيس النضويّ في زيادةِ شدّةِ الحقلِ المغناطيسيّ.**

عاملُ النفاذية المغناطيسيِّ

- نسمّي النسبةَ بينَ قيمةِ الحقلِ الكلّيّ $\vec{B_t}$ بوجودِ النواةِ الحديديّة بينَ قطبَي المغناطيسِ إلى قيمةِ الحقلِ المغناطيسيِّ الأصليّ $\vec{B}$ بعاملِ النفاذيةِ المغناطيسيِّ μ، أي:
- $\mu = \frac{B_t}{B}$

μ : عاملُ النفاذية المغناطيسيّ لا واحدةَ قياس له.

B_t : شدّةُ الحقلِ المغناطيسيِّ الكليّ، وتقدّرُ شدّتُهُ في الجملة الدوليّة بواحدة التسلا (T).

B : شدّةُ الحقلِ المغناطيسيِّ الأصليِّ الممغنط، وتقدّرُ شدّتُهُ في الجملة الدوليّة بواحدة التسلا (T).

- يتعلّقُ عاملُ النفاذية المغناطيسيّ بعاملين، هما:

a. طبيعةُ المادّةِ من حيثُ قابليّتُها للمغنطة.

b. شدّةُ الحقلِ المغناطيسيِّ الممغنط $\vec{B}$

الحقل المغناطيسي الأرضي

أتساءلُ:

كيفَ نفسّرُ توجّهَ إبرةٍ مغناطيسيّةٍ في نقطةٍ ما من سطحِ الأرضِ إلى الشمالِ الجغرافيِّ؟

إنّ منشأَ المغناطيسيّةِ الأرضيّةِ مُعقّدٌ وغيرُ معروفٍ بدقّةٍ حتى الآن.

اعتقدَ العلماءُ بدايةً أنّ الموادَّ المغناطيسيّةَ في الأرض مسؤولةٌ عن مغناطيسيّةِ الأرض، لكنَّ درجاتِ الحرارةِ العاليةَ جداً في جوفِ الأرضِ تجعلُ من الصّعبِ الحفاظُ على مغناطيسيّةٍ دائمةٍ للموادِّ الحديديّةِ في باطنِ الأرض.

ويعزو العلماءُ مغناطيسيّةَ الأرض إلى الشحناتِ المتحرّكةِ في سوائل جوف الأرض (أيونات موجبة، وإلكترونات سالبة) التي تولّدُ بحركتِها تياراتٍ كهربائيّةً داخلَ الأرضِ ينشأُ عنها حقولٌ مغناطيسيّةٌ.

عناصرُ شعاعِ الحقلِ المغناطيسيِّ الأرضيِّ في نقطة:

تسلكُ الأرضُ سلوكَ مغناطيسٍ مستقيمٍ كبيرٍ، منتصفُهُ في مركزِها، يميلُ محورُهُ قُرابةَ (11°) عن محورِ دورانِ الأرضِ المنطبقِ على (الشمال – الجنوب) الجغرافيِّ، قطباها المغناطيسيّان لا يُطابقانِ قطبيها الجغرافيّين؛ أي أنّ القطبَ المغناطيسيَّ الجنوبيَّ للأرض يقعُ بالقربِ من القطبِ الشماليِّ الجغرافيِّ، والقطبَ المغناطيسيَّ الشماليَّ للأرض يقعُ قربَ القطبِ الجنوبيِّ الجغرافيِّ للأرض، والمسافةُ بينَ القطبَين تقريباً $1920\ km$.

عندَ وضعِ إبرةٍ مغناطيسيّةٍ محورُ دورانِها أفقيٌّ عندَ أحدِ القطبينِ الجغرافيّينِ فإنّها تستقرُّ بوضعٍ شاقوليٍّ، أي تصنعُ مع خطِّ الأفقِ زاويةً قياسُها تقريباً 90°، وعندَ نقلِ الإبرةِ إلى خطِّ الاستواءِ فإنّها تنطبقُ على الأفق، أي أنَّ قياسَ زاويةِ الإبرةِ مع الأفقِ يساوي الصفرَ.

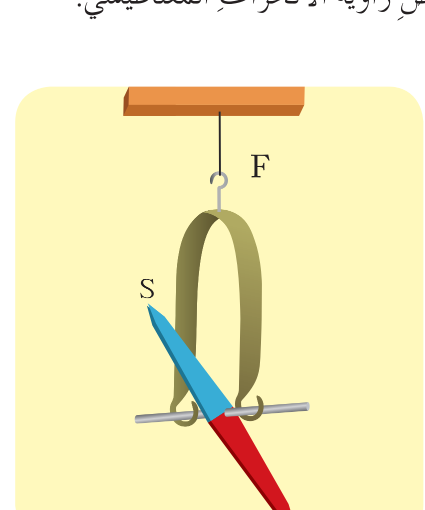
تُسمّى الزاويةَ بينَ مُستوي الإبرةِ وخطِّ الأفقِ زاوية الميل $\hat{i}$.

وعندَ وضعِ إبرةٍ مغناطيسيّةٍ محورُ دورانِها شاقوليٌّ بعيدةٌ عن أيّ تأثيرٍ مغناطيسيٍّ يمكنُها الدورانُ بحرّيّةٍ في مستوٍ أفقيٍّ فإنّها تستقرُّ موازيةً لخطٍّ أفقيٍّ يُسمّى خطَّ الزّوالَ المغناطيسيّ.

تُسمّى الزاويةُ المحصورةُ بينَ خطِّ الزّوالِ المغناطيسيِّ والمحورِ الجغرافيِّ للأرضِ زاويةَ الانحرافِ المغناطيسيّ.

ويتغيّرُ مقدارُها بينَ $(0^\circ - 180^\circ)$.

أجرّب وأستنتج:



المواد اللازمة: إبرةٌ مغناطيسيّةٌ صغيرةٌ محورُ دورانِها أفقيٌّ.

خطوات التجربة:

1. أضعُ الإبرةَ داخلَ الغرفةِ بعيدةً عن أيِّ تأثيرٍ مغناطيسيٍّ، وألاحِظُ منحى استقرارِها، بِمَ أُعلّلُ ذلك؟
2. أزيحُ الإبرةَ عن منحى استقرارِها، هل تعودُ إلى منحاها السابقِ قبلَ إزاحتِها؟ أعلّلُ ذلك؟

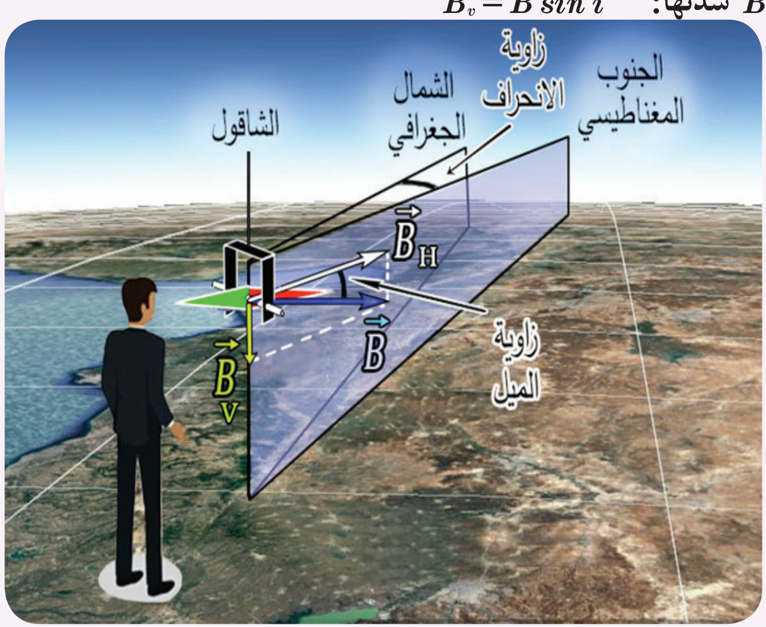


أستنتج

- تتغيّرُ شدّةُ الحقلِ المغناطيسيِّ الأرضيِّ من منطقةٍ إلى أخرى على سطحِ الأرضِ حسبَ موقِعِها الجغرافيِّ، ويقعُ شعاعُ الحقلِ المغناطيسيِّ الأرضيِّ في مُستوي الزّوال المغناطيسيِّ(وهو المُستوي المعرّف بخط الزوال المغناطيسي ومركز الأرض).
- يُعيّنُ شعاعُ الحقلِ المغناطيسيِّ الأرضيِّ بوساطةِ زاويتي المَيل والانحراف.
- يمكنُ تحليلُ شعاعِ الحقلِ المغناطيسيِّ إلى مركبتين:

مركبةٍ أفقيّةٍ $\vec{B}_H$ شدّتُها: $B_H = B \cos i$

مركبةٍ شاقوليّةٍ $\vec{B}_v$ شدّتُها: $B_v = B \sin i$



ملاحظة: تأخذُ الإبرةُ المغناطيسيّةُ لبوصلةٍ محور دورانها شاقوليٌّ منحى المركبةِ الأفقيّةِ للحقلِ المغناطيسيِّ الأرضيِّ $\vec{B}_H$ في مُستوي الزّوالِ المغناطيسيِّ، في حين تأخذُ الإبرةُ الحرّةُ الحركةِ منحى الحقلَ المغناطيسيَّ الكلّيَّ $\vec{B}$.

إثراء:

الطيورُ المهاجرةُ تتحسّس الحقلَ المغناطيسيَّ للأرض

يبدو أنَّ الطيورَ المهاجرةَ يمكنُها أنْ تُدركَ الحقلَ المغناطيسيَّ للأرض الذي تستعملُه بوصلةً لإرشادِها حولَ العالمِ، وقال باحثون ألمان: إنّ خلايا عصبيّةً متخصّصةً في العين حسّاسةً للاتّجاه المغناطيسيّ اتّضح للمرّة الأولى أنّها متّصلة عبرَ ممرٍّ معيّن بالمخّ بمنطقةٍ في مقدّمة دماغ الطيور مسؤولة عن الرؤية.

الحقولُ المغناطيسيّةُ للتياراتِ الكهربائيّة:

نشاط:

يُبيّنُ الجدولُ الآتي النتائجَ التجريبيّةَ لقياس شدّةِ الحقلِ المغناطيسيِّ المتولّدِ عن مرورِ تيارٍ كهربائيٍّ متواصلٍ في سلكٍ مستقيم في نقطةٍ تقعُ على بُعدٍ معيّن من السلك:

$I\,(A)$	1	2	3	4	5
$B\,(T)$	4×10^{-4}	8×10^{-4}	12×10^{-4}	16×10^{-4}	20×10^{-4}

1. أرسمُ الخطَّ البيانيَّ لتغيّرات B بدلالة I.

2. أحسبُ مَيلَ الخطِّ البيانيّ، ماذا أستنتج؟

3. أحسبُ قيمةَ B من أجلِ تيّارٍ شدّتُهُ $8\,A$.



أستنتج

- **إنّ شدّةَ الحقلِ المغناطيسيِّ المتوّلدِ عن تيارٍ كهربائيٍّ تتناسبُ طرداً وشدّةَ التيارِ المارِّ في الدّارة.**
- **الخطُّ البيانيُّ الممثل لتغيّراتِ شدّةِ الحقلِ المغناطيسيِّ بدلالةِ شدّةِ التيّارِ مستقيمٌ يمرُّ من المبدأ، ميلُهُ:**

$$k=\frac{B}{I}$$

$$B=k\,I$$

- **إذْ k : ثابتٌ يمثّلُ مَيلَ المستقيم.**
- **بيّنتِ الدراساتُ أنّ قيمةَ k تتعلّقُ بعاملين:**

الأوّلُ: الطبيعةُ الهندسيّةُ للدارة: شكلُ الدّارة، وموضع النقطة المعتبرة بالنسبة للدارة، أي k'.

الثاني: عاملُ النفاذيةِ المغناطيسيّ μ_0، وقيمتُهُ في الخلاءِ في جملةِ الوحداتِ الدوليّة $\mu_0=4\pi\times10^{-7}\ T.m.A^{-1}$.

- **بناءً على ما سبقَ يمكنُ أنْ نكتبَ علاقةَ شدّةِ الحقلِ المغناطيسيِّ المتولّدِ عن تيّارٍ كهربائيٍّ بالشكل:**

$$B=4\pi\times10^{-7}k'I$$

B : شدّةُ الحقلِ المغناطيسيِّ (T).

I : شدّةُ التيّار (A).

k' : ثابتٌ يتعلّقُ بالطبيعةِ الهندسيّة للدارة.

الحقلُ المغناطيسيُّ لتيّار مستقيم طويل :

في إحدى التجاربِ مُرِّرَ تيّارٌ كهربائيٌّ متواصلٌ شدّتُهُ $20\ A$ في سلكٍ مستقيمٍ وطويلٍ، وقيستْ شدّةُ الحقلِ المغناطيسيِّ بوساطةِ مقياسِ تسلا في مجموعةِ نِقاطٍ تقعُ على أبعادٍ مختلفةٍ من محورِ السلكِ، وكانت النتائجُ وَفقَ الجدولِ الآتي:

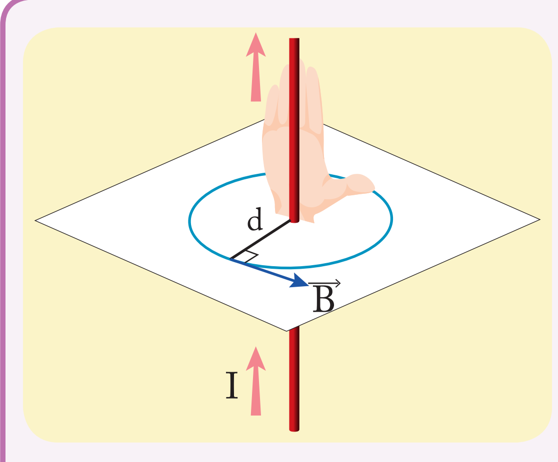


$B\,(\mathrm{T})$	2×10^{-4}	1×10^{-4}	0.8×10^{-4}	0.4×10^{-4}
$d\,(\mathrm{m})$	2×10^{-2}	4×10^{-2}	5×10^{-2}	10×10^{-2}
$k'=\frac{1}{2\pi d}$	....	....	....	....
$\frac{B}{k'\,I}$	....	....	....	....

1. أحسبُ قيمةَ الجداء $B\,d$ ، ماذا أستنتجُ؟
2. أكملُ الفراغاتِ في الجدولِ السابقِ، ماذا أستنتجُ؟



أستنتج



عناصرُ شعاعِ الحقلِ المغناطيسيّ في نقطة n تبعدُ مسافة d عن محورِ السلك:

- **الحاملُ:** عموديٌّ على المُستوي المعيّن بالسلك والنقطةِ المعتبرة.
- **الجهةُ:** تحدّدُ عمليّاً بوساطةِ إبرةٍ مغناطيسيّةٍ صغيرةٍ نضعُها في النقطة المعتبرة، وتكون جهةُ شعاعِ الحقل $\vec{B}$ من جهة محور الإبرة $\overrightarrow{SN}$ بعد أنْ تستقرَّ.

أمّا نظريّاً فإنّها تُحدَّدُ بقاعدةِ اليد اليمنى:

- الساعد يوازي السلك.
- يدخلُ التيّارُ من الساعدِ، ويخرجُ من نهايات الأصابع.
- نوجّهُ باطنَ الكفِّ نحو النقطة المدروسة.
- يشيرُ إبهامُ اليدِ اليمنى إلى جهةِ شعاعِ الحقلِ المغناطيسيّ.
- **الشِّدّة:** إنّ شدّةَ الحقلِ المغناطيسيّ لتيّارٍ مستقيمٍ طويلٍ تتناسبُ طرداً مع شدّةِ التيّارِ الكهربائيّ المارّ فيه I، وعكساً مع بُعدِ النقطةِ المعتبرةِ عن محورِ السلك d، ويُعطى بالعلاقة: $B = 4\pi \times 10^{-7} k' I$

لكن: $k' = \frac{1}{2\pi d}$

نعوّض: $B = 2 \times 10^{-7} \frac{I}{d}$

- I : شدّةُ التيّارِ الكهربائيّ (A).
- B : شدّةُ الحقلِ المغناطيسيّ (T) (تسلا)
- d : بُعدُ النقطةِ المعتبرةِ عن محورِ السلكِ (m).

تطبيقٌ (1):

نمرّرُ تيّاراً كهربائيّاً متواصلاً شدّتُه 10 A في سلكٍ طويلٍ مستقيمٍ موضوعٍ أفقيّاً في مُستوي الزوالِ المغناطيسيّ الأرضيّ المارّ من مركزِ إبرةٍ مغناطيسيّةٍ صغيرةٍ يمكنُها أنْ تدورَ حولَ محورٍ شاقوليٍّ موضوعةٍ تحتَ السلكِ على بُعدِ 50 cm من محورِه. **المطلوب حساب:**

1. شدّةِ الحقلِ المغناطيسيّ عندَ مركزِ الإبرةِ المغناطيسيّةِ الناتج عن مرور التيّار.
2. قيمةِ زاويةِ انحرافِ الإبرةِ المغناطيسيّةِ باعتبارِ أنّ قيمةَ المركبةِ الأفقيّةِ للحقلِ المغناطيسيّ الأرضيّ 2×10^{-5} T.

الحل:

$$d = 50 \times 10^{-2}\ m = 0.5\ m\ ,\ I = 10\ A\ ,\ B_H = 2 \times 10^{-5}\ T$$

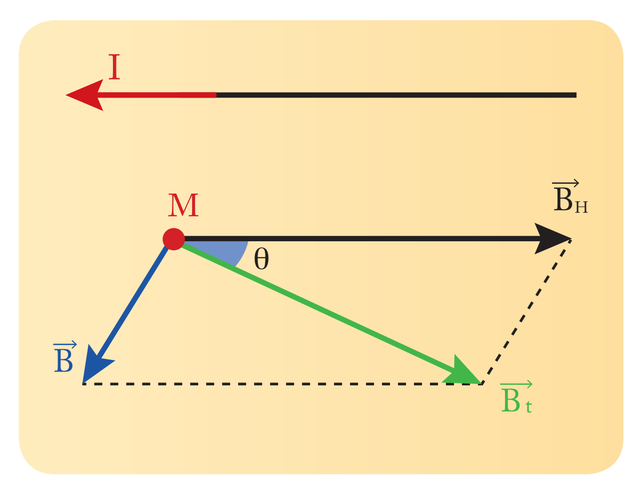
1. الحقل المغناطيسي المتولّد عن التيار المارّ في السلك:

$$B = 2\times10^{-7}\frac{I}{d}$$

$$B = 2\times10^{-7}\frac{10}{5\times10^{-1}}$$

$$B = 4\times10^{-6}\,T$$

2. قبلَ إمرارِ التيّارِ تستقرُّ الإبرةُ وفقَ منحى المركبةِ الأفقيّةِ للحقلِ المغناطيسيِّ الأرضيِّ $\overrightarrow{B_H}$.
بعدَ مرورِ التيّارِ يتولّدُ حقلٌ مغناطيسيٌّ $\overrightarrow{B}$ يؤلّفُ مع $\overrightarrow{B_H}$ حقلاً محصّلاً $\overrightarrow{B_T}$، تدورُ الإبرةُ المغناطيسيّةُ بزاويةِ θ، وتستقرُّ وفقَ منحاه.



$$\tan\theta = \frac{B}{B_H}$$

$$\tan\theta = \frac{4\times10^{-6}}{2\times10^{-5}}$$

$$\tan\theta = 0.2$$

لكن θ صغيرة

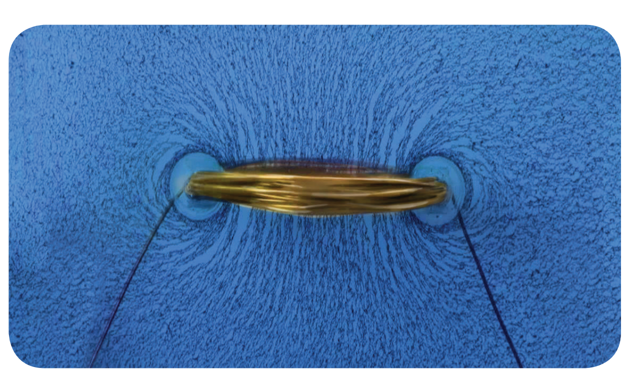
$$\tan\theta \simeq \theta$$

$$\theta \simeq 0.2\,\text{rad}$$

الحقلُ المغناطيسيُّ لتيّارٍ كهربائيٍّ متواصلٍ في ملفٍّ دائريٍّ:

نشاط:

في إحدى التجاربِ مُرّرَ تيّارٌ كهربائيٌّ متواصلٌ شدّتُهُ 10 A في ملفٍّ دائريٍّ نصفُ قطرِهِ 10 cm، وقِيستْ شدّةُ الحقلِ المغناطيسيِّ بوساطةِ مقياسِ تسلا في مركزِ الملفِّ، وكُرّرتِ التجربةُ السابقةُ من أجلِ ملفّاتٍ متماثلةٍ في نصفِ قطرِها الوسطيِّ ومختلفةٍ في عددِ لفّاتِها، وكانتِ النتائجُ وفقَ الجدولِ الآتي



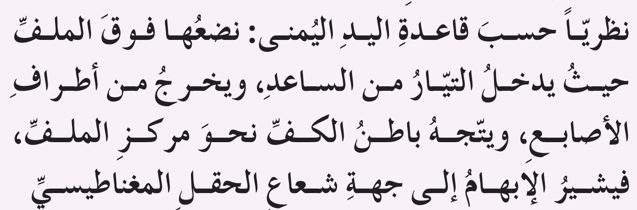
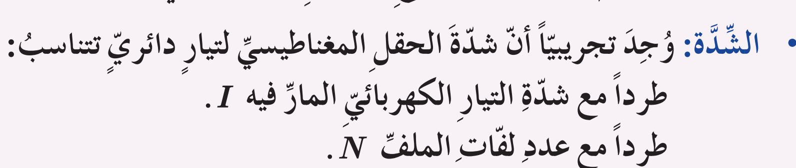
$B(\text{T})$	$2\pi\times10^{-3}$	$4\pi\times10^{-3}$	$6\pi\times10^{-3}$
N (لفة)	100	200	300
$k'=\frac{N}{2r}$	....	....	....
$\frac{B}{k'\,I}$	....	....	....

1. أُحدّدُ علاقةَ شدّةِ الحقلِ المغناطيسيِّ بعددِ لفّاتِ الملفِّ.
2. أُكملُ الفراغاتِ في الجدولِ السابقِ، ماذا أستنتجُ؟



أستنتج

عناصرُ شعاعِ الحقلِ المغناطيسيِّ لتيارٍ دائريٍّ:

- **الحاملُ:** العمودُ على مُستوي الملفّ.
- **الجهـةُ:** عمليّـاً مـن القطـبِ الجنوبـيّ إلـى القطـبِ الشـماليّ لإبـرةٍ مغناطيسـيّةٍ نضعُهـا عنـدَ مركـزِ الملـفّ الدائريّ بعدَ استقرارِها.

نظريّـاً حسـبَ قاعـدةِ اليـدِ اليُمنـى: نضعُهـا فـوقَ الملـفّ حيـثُ يدخـلُ التيّـارُ مـن السـاعدِ، ويخـرجُ مـن أطـرافِ الأصابـعِ، ويتّجـهُ باطـنُ الكـفّ نحـوَ مركـزِ الملـفّ، فيشـيرُ الإبهـامُ إلـى جهـةِ شـعاعِ الحقـلِ المغناطيسـيّ

- **الشِّدَّة:** وُجِدَ تجريبيّاً أنّ شدّةَ الحقلِ المغناطيسيِّ لتيارٍ دائريٍّ تتناسبُ:
  طرداً مع شدّةِ التيارِ الكهربائيِّ المارِّ فيه I.
  طرداً مع عددِ لفّاتِ الملفِّ N.
  عكساً مع نصفِ قطرِ الملفِّ الوسطيِّ r.

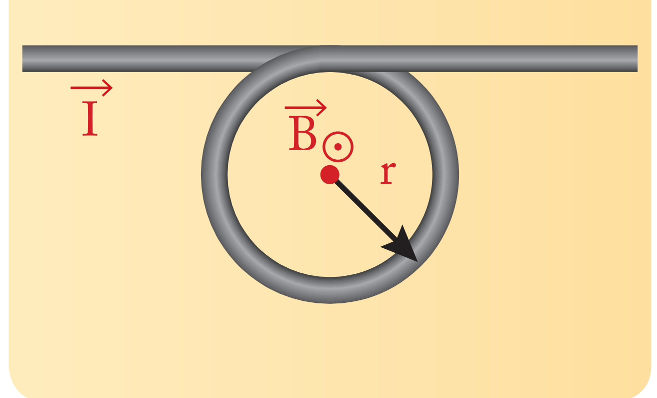
$$B=4\pi\times10^{-7}\,k'\,I$$

لكن: $k'=\frac{N}{2r}$

$$B=2\pi\times10^{-7}\,\frac{NI}{r}$$

تطبيقٌ

نمرّرُ تيّاراً كهربائيّاً شدّتُهُ 6A في سلكٍ مُستقيمٍ طويل معزول، ثمّ نلفُّ جزءاً منه على شكلِ حلقةٍ دائريّةٍ بلفّةٍ واحدةٍ نصفُ قطرِها 3 cm، كما في الشّكل.
احسبْ شدّةَ الحقلِ المغناطيسيِّ المحصّلِ في مركزِ الحلقةِ، ثمّ حدّدْ بقيّةَ عناصرِهِ.



الحلُّ:

$I = 6\text{A}, r = 3\times10^{-2}\,\text{m}, N = 1$

نَعُدُّ السلكَ جزأين:
الأولُ: حلقةٌ.
الثاني: مستقيمٌ، فينشأُ في مركزِ الحلقةِ الدائريّةِ حقلانِ يمكنُ تحديدُ جهةِ كلٍّ منهما حسبَ قاعدةِ اليدِ اليُمنى.

1. الحقلُ المغناطيسيُّ المتولّدُ عن التيّار المارّ في الحلقة الدائريّة:

$$B_1 = 2\pi\times10^{-7}\frac{NI}{r}$$

$$B_1 = 2\pi\times10^{-7}\frac{1\times6}{3\times10^{-2}}$$

$$B_1 = 12.5\times10^{-5}\,\text{T}$$

2. الحقلُ المغناطيسيُّ المتولّدُ عن التيّار المارّ في السلك المستقيم:

$$B_2 = 2\times10^{-7}\frac{I}{d}$$

$$B_2 = 2\times10^{-7}\frac{6}{3\times10^{-2}}$$

$$B_2 = 4\times10^{-5}\,\text{T}$$

الحقلان على حاملٍ واحدٍ، وبالجهةِ نفسِها، فتكونُ شدّةُ الحقلِ المحصّلِ:

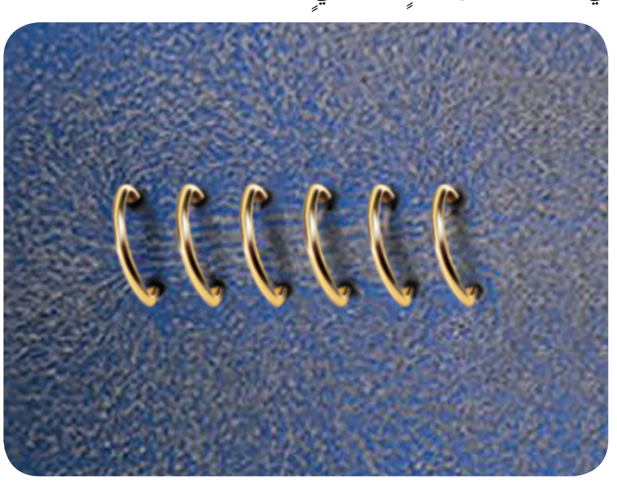
$$B = B_1 + B_2$$

$$B = 12.5\times10^{-5} + 4\times10^{-5}$$

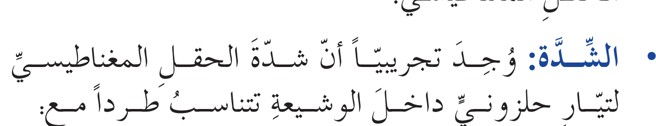
$$B = 16.5\times10^{-5}\,\text{T}$$

الحقلُ المغناطيسيُّ لتيّارٍ كهربائيٍّ متواصلٍ يمرُّ في ملفٍّ حلزونيٍّ (وشيعة) :

عناصرُ شعاعِ الحقلِ المغناطيسيِّ المتولّدِ عن تيّارٍ حلزونيٍّ:



- **الحاملُ:** محورُ الوشيعةِ.
- **الجهةُ:** عمليّاً من القطبِ الجنوبيِّ إلى القطبِ الشماليِّ لإبرةٍ مغناطيسيّةٍ نضعُها عندَ مركزِ الوشيعةِ بعدَ استقرارِها.
نظريّاً تُحدّدُ بقاعدةِ اليدِ اليمنى نضعُها فوقَ الوشيعةِ بحيثُ توازي أصابعُها إحدى الحلقاتِ ونتصوّرُ أنّ التيّارَ يدخلُ من الساعدِ، ويخرجُ من رؤوسِ الأصابعِ، فيشيرُ الإبهامُ الذي يُعامدُ الأصابعَ إلى جهةِ شعاعِ الحقلِ المغناطيسيِّ.



- **الشِّدّة:** وُجِدَ تجريبيّاً أنّ شدّةَ الحقلِ المغناطيسيِّ لتيّارٍ حلزونيٍّ داخلَ الوشيعةِ تتناسبُ طرداً مع:
  - شدّةِ التيّارِ الكهربائيِّ المتواصلِ المارِّ فيها I
  - النسبةِ $n_1 = \frac{N}{l}$ أي عددِ اللفّاتِ في واحدةِ الأطوالِ، وتُعطى الشِّدّة بالعلاقة:

$$B = \mu_0 k' I$$

لكن:

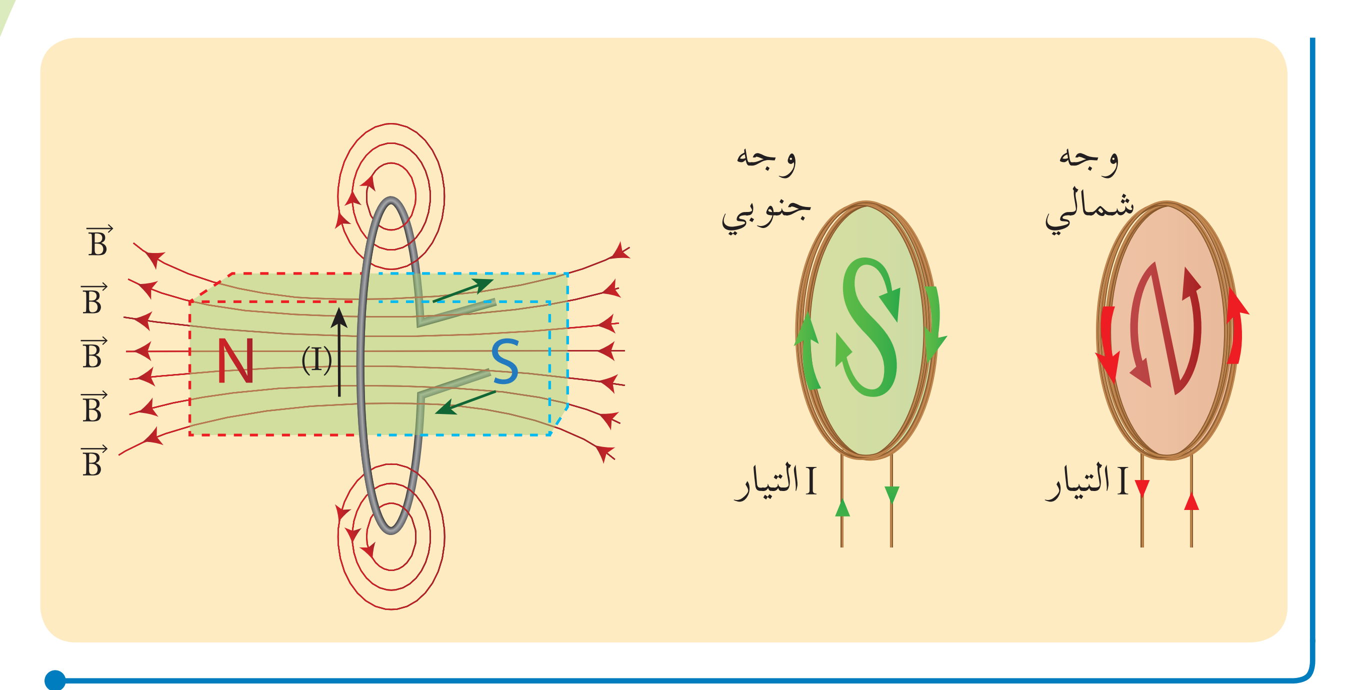
$$k' = \frac{N}{l}$$

نعوّض:

$$B = 4\pi \times 10^{-7} \frac{N}{l} I$$

نتيجة:

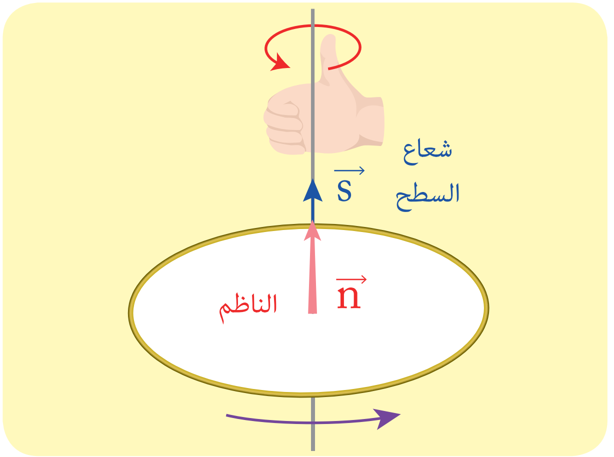
إنّ الملفّاتِ والوشائعَ الكهربائيّةَ تُكافئُ مغانطَ؛ إذْ يُطلَقُ اسمُ الوجهِ الشماليّ على وجهِ الملفِّ الذي تكونُ فيه جهةُ التيّارِ بعكسِ جهةِ دورانِ عقاربِ الساعةِ، أمّا الوجهُ الآخرُ للملفّ فهو الوجهُ الجنوبيُّ.



التدفُّقُ المغناطيسيُّ:

يُعبِّرُ التدفّقُ المغناطيسيُّ Φ عن عددِ خطوطِ الحقلِ المغناطيسيِّ التي تجتازُ سطحَ دارةٍ كهربائيّةٍ مُستويةٍ مُغلَقةٍ.

شعاعُ السطح $\vec{s}$



- نرسمُ الناظمَ $\vec{n}$ على مُستوي الدارة، وهو العمودُ على مُستوي سطحِ الدارةِ الذي يدخلُ من وجهها الجنوبيِّ، ويخرجُ من وجهها الشّماليّ.
- نعرّفُ شعاعَ السّطحِ $\vec{s}$ بالعلاقة:

$$\vec{s} = s\vec{n}$$



أستنتج

عناصرُ شعاعِ السطح:

- **الحاملُ:** الناظمُ.
- **الجهةُ:** بجهةِ الناظمِ دوماً
- **الشّدَّة:** s مساحة سطحِ الدارة، واحدةُ قياسها m^2.

تعريفُ التدفّقِ المغناطيسيِّ:

نعرّفُ التدفّقَ المغناطيسيَّ $\overline{\Phi}$ الذي يجتازُ دارةً كهربائيّةً مُستويةً في الخلاءِ بالعلاقة:

$$\overline{\Phi} = \vec{B} \cdot \vec{s}$$

$$\overline{\Phi} = Bs\cos\alpha$$

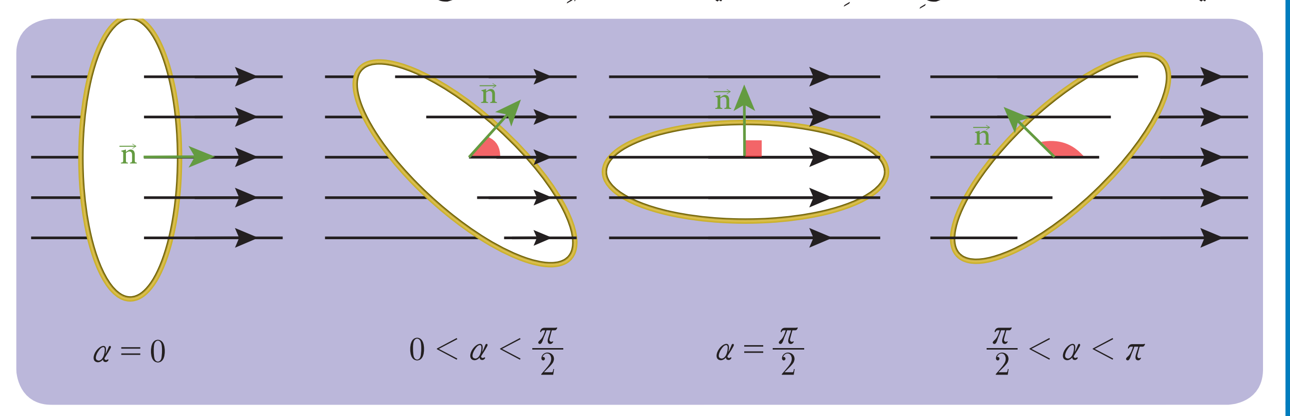
ومن أجلِ دارةٍ تحوي N لفّة تصبحُ العلاقةُ:

$$\overline{\Phi} = NBs\cos\alpha$$

$\overline{\Phi}$ التدفّقُ المغناطيسيُّ، يقدّرُ بواحدة Weber

B : شدّةُ الحقلِ المغناطيسيِّ الذي يجتازُ الدارةَ، يقدّرُ بواحدةِ التسلا (T)

α : هي الزاويةُ الكائنةُ بينَ شعاعِ الحقلِ المغناطيسيِّ $\vec{B}$ والناظمِ على السطح $\widehat{\alpha} = (\vec{B}\,\widehat{,}\,\vec{n})$.



تعليلُ المغناطيسيّة:

نشاط:

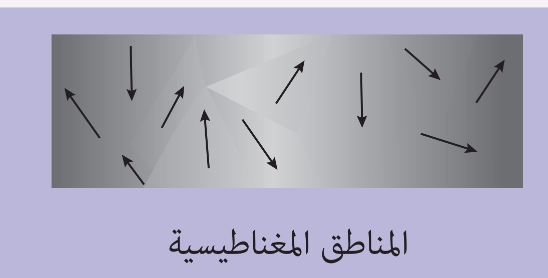
إذا علمتَ أنّ ذرّةَ الحديد $_{26}Fe$ **المطلوب:**

1. اكتبِ التوزّعَ الإلكترونيَّ في ذرّةِ الحديدِ.
2. ارسمِ التّمثيلَ الإلكترونيَّ في المدارِ الثانويِّ $3d$ بطريقةِ السهمِ والمربّعات.
3. ما عددُ الإلكتروناتِ الفرديّة (العازبة) فيه؟
4. هل هي ساكنةٌ؟ هل تدور بجهة واحدة أم بجهتين متعاكستين؟
5. هل يدورُ الإلكترونُ حولَ نفسِه؟ وماذا يكافئُ هذا الدورانُ؟

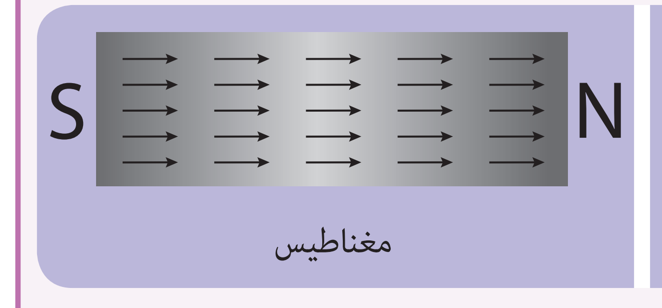


أستنتج

- يشبهُ دورانُ الإلكتروناتِ حولَ النّواةِ مرورَ تيّارٍ كهربائيّ في حلقةٍ مغلقةٍ، فيولّدُ حقلاً مغناطيسيّاً، إذْ تتغيّرُ جهةُ هذا الحقلِ بتغيّرِ جهةِ دورانِ الإلكترونِ، فإذا دارَ إلكترونان حولَ النواةِ في الذرّة بسرعتين زاويّتين متساويتين طويلةً وباتّجاهَين مُتعاكِسين وبنصفِ قطرِ مدارٍ واحدٍ تولّدَ عن أحدِهما خاصيةٌ مغناطيسيّةٌ تلغي خاصيةَ المغناطيسيّةَ المتولّدةَ عن الآخر، أمّا إذا انفردَ أحدُ إلكتروناتِ الذرّة بدورانِه حولَ النواةِ اكسبَها صفةً مغناطيسيّةً جاعلاً من الذرّةِ مغناطيساً صغيراً ثنائيَّ القطب.
- إنّ دورانَ الإلكترونِ حولَ محورِه يُعدُّ تيّاراً مُتناهياً في الصِّغرِ يولّدُ حقلاً مغناطيسيّاً كما لو كان مغناطيساً صغيراً، فإذا دارَ إلكترونان حولَ محورَيهما باتّجاهين متعاكسين يلغي أحدُهما الخصائصَ المغناطيسيّةَ للآخر،
- أمّا إذا انفردَ الإلكترونُ بدورانِهِ حولَ نفسِه أكسبَ الذرّةَ صفةً مغناطيسيّة.
- إنّ حركةَ بعضِ الشّحناتِ داخلَ النواةِ تولّدُ خَصيصةً مغناطيسيّةً صغيرةً جدّاً مقارنةً بالخصيصةِ المتولّدةِ عن الدورانين السابقين للإلكترونات.
- لقد أظهرت الدراسةُ للموادّ الحديديّة العاديّة أنّها تتكوّن من ثنائيّاتِ أقطابٍ مغناطيسيّةٍ متوازيةٍ عشوائيّاً في غياب المجال المغناطيسيّ الخارجيّ بحيثُ تكونُ مُحصِّلةُ هذه الخصائصِ المغناطيسيّةِ معدومةً، ولكن إذا وُجدت قطعةُ الحديد في مجالٍ مغناطيسيّ خارجيٍّ تتوجّهُ ثنائيّاتُ الأقطاب المغناطيسيّة داخلَ القطعة باتّجاه المجال المغناطيسيِّ الخارجيّ أيّ تكونُ أقطابُها الشماليّة المغناطيسيّة باتّجاه المجال المغناطيسيّ الخارجيّ، وتصبحُ محصّلتُها غيرَ معدومةٍ، لِذا تصبحُ قطعةُ الحديد ممغنطةً.



المناطق المغناطيسية



مغناطيس

تعلّمت

- مفهومُ الحقلِ المغناطيسيّ: نقولُ عن منطقةٍ من الفراغِ أنّه يسودُها حقلٌ مغناطيسيٌّ عندما نضعُ في نقطةٍ منها إبرةً مغناطيسيّةً، فتتوجّهُ باتّجاهٍ ومنحىً معيّنين.
- يكونُ الحقلُ المغناطيسيُّ منتظماً إذا كانت خطوطُ الحقلِ مستقيماتٍ متسايرةً وفي الجهةِ نفسِها.
- خطُّ الحقلِ المغناطيسيِّ هو خطٌّ وهميٌّ يَمَسُّ في كلِّ نقطةٍ من نقاطِه شعاعُ الحقلِ المغناطيسيِّ في تلك النقطة.
- شدّةُ الحقلِ المغناطيسيِّ لتيّارٍ مستقيمٍ طويلٍ تُعطى بالعلاقة: $B = 2\times10^{-7}\frac{I}{d}$
- شدّةُ الحقلِ المغناطيسيِّ لتيّارٍ دائريٍّ تُعطى بالعلاقة: $B = 2\pi\times10^{-7}\frac{NI}{r}$
- شدّةُ الحقلِ المغناطيسيِّ لتيّارٍ حلزونيٍّ تُعطى بالعلاقة: $B = 4\pi\times10^{-7}\frac{NI}{l}$
- التدفّقُ المغناطيسيُّ: هو الجداءُ السُّلّميُّ لشعاعِ الحقلِ المغناطيسيِّ في شعاعِ السّطح.

$$\overline{\Phi} = \vec{B}.\vec{S}$$

$$\overline{\Phi} = BS\cos\alpha$$

- حيثُ α : هي الزاويةُ بينَ شعاعِ الحقلِ المغناطيسيِّ وشعاعِ الناظمِ على السطحِ.





أختبر نفسي

أولاً: اخترِ الإجابةَ الصحيحةَ لكلٍّ ممّا يأتي:

1. نمرّرُ تيّاراً كهربائيّاً متواصلاً في ملفٍّ دائريٍّ، فيتولّدُ عندَ مركزِهِ حقلٌ مغناطيسيٌّ شدّتُه B، نضاعفُ عددَ لفّاتِه، ونجعلُ نصفَ قطرِ الملفِّ الوسطيِّ نصفَ ما كانَ عليهِ فتصبحُ شدّةُ الحقلِ المغناطيسيِّ عندَ مركزِه:

a. B b. $2B$ c. $4B$ d. $0.5B$

2. إنّ التدفّقَ المغناطيسيَّ الذي يجتازُ دارةً مُستويةً في الخلاءِ يكونُ مساوياً نصفَ قيمتِهِ العُظمى عندما:

a. $\alpha = \frac{\pi}{2}\text{ rad}$ b. $\alpha = \pi\text{ rad}$ c. $\alpha = \frac{\pi}{6}\text{ rad}$ d. $\alpha = \frac{\pi}{3}\text{ rad}$

3. إنّ شدّةَ شعاعِ الحقلِ المغناطيسيِّ في مركزِ وشيعةٍ يتناسبُ طرداً مع:

a. مقاومةِ سلكِ الوشيعةِ
b. طولِ الوشيعةِ
c. التوتّرِ الكهربائيِّ المطبّقِ بينَ طرفَي الوشيعةِ
d. مساحةِ سطحِ مقطعِ الوشيعة

4. نمرّرُ تيّاراً كهربائيّاً متواصلاً في سلكٍ مستقيم، فيتولّدُ حقلٌ مغناطيسيٌّ شدّتُهُ B في نقطةٍ تبعدُ d عن محورِ السلكِ، وفي نقطةٍ ثانيةٍ تبعدُ $2d$ عن محورِ السلكِ، وبعدَ أنْ نجعلَ شدّةَ التيّارِ رُبعَ ما كانت عليه تصبحُ شدّةُ الحقلِ المغناطيسيِّ:

a. $2B$ b. $4B$ c. $8B$ d. $\frac{1}{8}B$

5. نمرّرُ تيّاراً كهربائيّاً متواصلاً في وشيعةٍ عددُ طبقاتِها طبقةٌ واحدةٌ فيتولّدُ في مركزِها حقلٌ مغناطيسيٌّ شدّتُهُ B، نقسمُ الوشيعةَ إلى قسمَين متساويين، فتصبحُ شدّةُ الحقلِ المغناطيسيِّ عندَ مركزِ الوشيعةِ:

a. B b. $2B$ c. $\frac{B}{2}$ d. $\frac{B}{4}$

ثانياً: أعطِ تفسيراً علميّاً لكلٍّ ممّا يلي:

1. تتقاربُ خطوطُ الحقلِ المغناطيسيِّ عند قطبَي المغناطيس.
2. لا يمكنُ لخطوطِ الحقلِ المغناطيسيِّ أنْ تتقاطعَ.
3. لا تولّدُ الأجسامُ المشحونةُ الساكنةُ أيَّ حقلٍ مغناطيسيٍّ.

ثالثاً: ضعْ كلمةَ "صح" أمامَ العبارةِ الصحيحةِ، وكلمةَ "خطأ" أمامَ العبارةِ الخاطئةِ، ثمّ صحّحْها فيما يأتي:

1. لكلِّ مغناطيسٍ قطبانِ مغناطيسيّان مختلفان في شدّتهما.
2. خطوطُ الحقلِ المغناطيسيِّ لا تُرى بالعين المجرّدة.
3. تزدادُ شدّةُ الحقلِ المغناطيسيِّ لتيّارٍ كهربائيٍّ متواصلٍ في سلكٍ مستقيمٍ كلّما ابتعدنا عن السلك.
4. تنقصُ شدّةُ الحقلِ المغناطيسيِّ في مركزِ وشيعةٍ عددُ طبقاتِها طبقةٌ واحدةٌ إلى نصفِ شدّتِهِ في حالةِ إنقاصِ عددِ لفّاتِها إلى النصف.

رابعاً: أجبْ عمّا يأتي:

أضعُ إبرةً مغناطيسيّةً محورُها شاقوليٌّ على طاولةٍ أفقيّةٍ لتستقرَّ، أبيّنُ كيفَ يجبُ وضعُ سلكٍ مستقيمٍ أفقيّاً فوقَ البوصلةِ بحيثُ لا تنحرفُ الأبرةُ عندَ إمرارِ تيّارٍ كهربائيٍّ في السلكِ؟

خامساً: حُلَّ المسائلَ الآتيةَ:

المسألةُ الأولى:

نضعُ في مُستوي الزّوالِ المغناطيسيِّ الأرضيِّ سلكين طويلين متوازيين بحيثُ يبعدُ منتصفاهما (c_1, c_2) عن بعضِهما البعضِ مسافةَ $d = 40\,cm$، ونضعُ إبرةَ بوصلةٍ صغيرة في النقطة c منتصفَ المسافة (c_1, c_2). نمرّرُ في السّلكِ الأوّلِ تيّاراً كهربائيّاً شدّتُهُ $I_1 = 3A$، وفي السّلكِ الثاني تيّاراً كهربائيّاً شدّتُهُ $I_2 = 1A$، وبجهةٍ واحدةٍ.

المطلوب:

1. حسابُ شدّةِ الحقلِ المغناطيسيِّ المتولّدِ عن التيّارين في النقطة c موضّحاً ذلك بالرسم.
2. حسابُ الزاويةِ التي تنحرفُ فيها إبرةُ البوصلةِ عن منحاها الأصليّ بفرضِ أنّ قيمةَ المركبةِ الأفقيّةِ للحقلِ المغناطيسيِّ الأرضيِّ $B_H = 2 \times 10^{-5}\,T$

3. حدّدِ النقطةَ الواقعةَ بينَ السلكَينِ التي تنعدمُ فيها شدّةُ محصّلة الحقلَين.
4. هل يمكنُ أنْ تنعدمَ شدّةُ محصّلةِ الحقلين في نقطةٍ واقعةٍ خارجَ السلكين؟ وضّح أجابتك.

المسألة الثانيةُ:

a. ملفٌّ دائريٌّ في مكبّرِ صوتٍ، عددُ لفّاتِهِ 400 لفّة، ونصفُ قطره $2\,\text{cm}$ ، نطبّقُ بينَ طرفَيه فرقاً في الكُمون $U = 10\text{V}$ ، فإذا علمتَ أنّ مقاومته 20Ω ، احسبْ شدّةَ الحقلِ المغناطيسيِّ المتولّدِ عندَ مركز الملفّ.

b. نقطعُ التيّارَ السابقَ عن الملفّ، احسبِ التغيّرَ الحاصلَ في قيمةِ التدفّقِ المغناطيسيِّ الذي يجتازُ الملفّ ذاتَه.

المسألة الثالثةُ:

نضعُ سلكين شاقوليّين متوازيَين بحيثُ يبعدُ منتصفاهما M_1, M_2 أحدُهما عن الآخر $4\,\text{cm}$ ، نمرّرُ في السلك الأوّل تيّاراً كهربائيّاً شدّتُهُ I_1 ونمرّرُ في السلك الثاني تيّاراً كهربائيّاً شدّتُهُ I_2 وباتّجاهين متعاكسين، فتكونُ شدّةُ الحقلِ المغناطيسيِّ المحصّلِ لحقلَي التيّارين $4\times 10^{-7}\text{T}$ عند النقطة M منتصفَ المسافة بينَ M_1, M_2 وعندما يكونُ التيّاران بجهةٍ واحدةٍ تكونُ شدّةُ الحقلِ المغناطيسيِّ المحصّلِ عند M هي $2\times 10^{-7}\text{T}$ فإذا كان $I_1 > I_2$ احسبْ كلّاً من I_1, I_2 .

المسألة الرابعةُ:

نضعُ ملفّين دائريّين لهما المركزُ ذاتُهُ في مستوٍ شاقوليٍّ واحدٍ، عددُ لفّاتِ كلٍّ منهما 200 لفّة، نصفُ قطر الأوّلِ $10\,\text{cm}$ ، والثاني نصفُ قطره $4\,\text{cm}$ ، نمرّرُ في الملفّ الأوّل تيّاراً كهربائيّاً شدّتُه $8\,\text{A}$ بعكس جهة دوران عقارب الساعة؟، المطلوبُ: حدّدْ جهةَ التيّارِ الواجبِ إمرارُهُ في الملفّ الثاني وشدّتَهُ؛ لتكونَ شدّةُ الحقلِ المغناطيسيِّ المحصّل عندَ المركزِ المُشترَك للملفَّين:

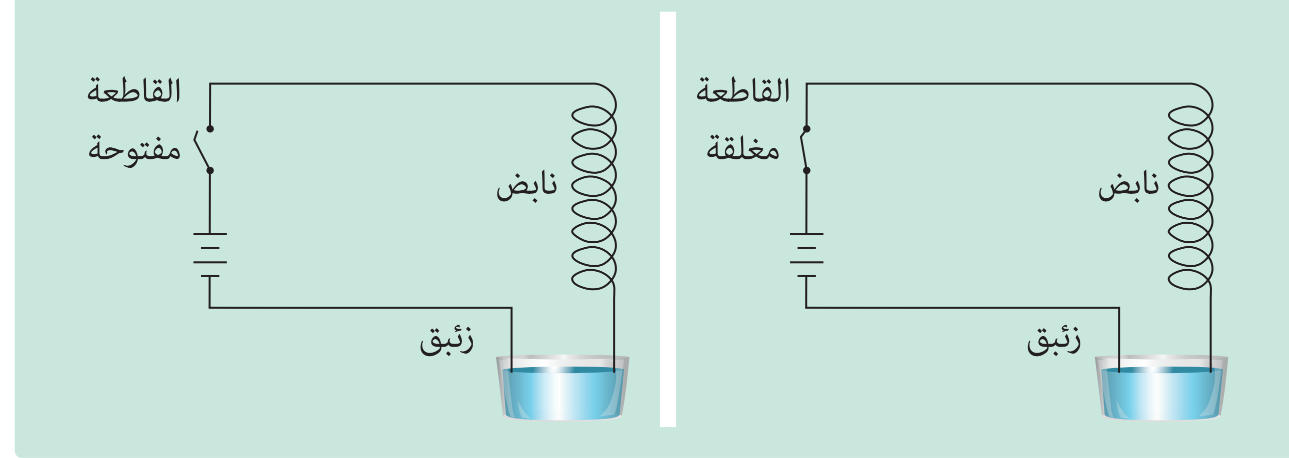
1. $5\times 10^{-2}\text{T}$ أمامَ مُستوي الرّسم
2. $3\times 10^{-2}\text{T}$ خلفَ مُستوي الرّسم،
3. معدومةً.

المسألة الخامسة:

ملفٌّ دائريٌّ نصفُ قطرِه الوسطيّ $5\,\text{cm}$ يولّدُ عندَ مركزِهِ حقلاً مغناطيسيّاً، قيمتُهُ تساوي قيمةَ الحقلِ المغناطيسيِّ الذي تولّدُهُ وشيعةٌ عندَ مركزِها عندما يمرُّ بهما التيّارُ نفسُهُ، فإذا علمتَ أنّ عددَ لفّاتِ الوشيعة 100 لفّة وطولَها $20\,\text{cm}$ ، احسبْ عددَ لفّاتِ الملفِّ الدائريِّ.

تفكير ناقد

نابضٌ معدنيٌّ مرنٌ مُهمَلُ الكتلةِ حلقاتُه مُتباعِدة، يُعلَّقُ من إحدى طرفيه ويُترَكُ ليتدلى شاقوليّاً، نمرِّرُ فيه تيّاراً كهربائيّاً شدّتُه كبيرةٌ نسبيّاً. أتتقاربُ حلقاتُ النّابضِ، أم تتباعدُ عن بعضِها البعضِ؟ مُعلِّلاً أجابتك.



أبحث أكثر

يتمَّ تخزينُ المعلومات وأوامر البرمجة من أجهزةِ الحاسوبِ رقميّاً في صورةِ وحداتٍ صغيرةٍ Bits وكلُّ وحدةٍ حُدِّدَت برقمِ صفرٍ أو واحد. أبحثُ في طريقةِ تخزينِ هذه الوحداتِ على سطحِ قرص التّخزين cd أو DVD.



2 فعلُ الحقل المغناطيسيّ في التيّار الكَهربائيّ



يعدّ الرَّنين المغناطيسيّ من أحدثِ تقنياتِ التَّصوير الطبّيّ، وتستخدمُ فيه حقولٌ مغناطيسيّة في تصوير الأنسجة الدّاخلية للجسم بصورةٍ مُفصَّلة.

الأهداف:

* يتعرّفُ القوّةَ المُؤثِّرةَ على شحنةٍ كهربائيّةٍ مُتحرّكةٍ في منطقةٍ يسودُها حقلٌ مغناطيسيّ.
* يُحدِّدُ عناصرَ القوّة المغناطيسيّة المُؤثِّرة في شحنةٍ كهربائيّةٍ مُتحرِّكة.
* يَشرَحُ بتجربةٍ تأثيرَ الحقلِ المغناطيسيّ في التيّار الكهربائيّ.
* يستنتِجُ العبارةَ الشّعاعيّة للقوّة الكهرطيسيّة.
* يُحدِّدُ عناصرَ القوّة الكهرطيسيّة.
* يستنتِجُ علاقةَ عملِ القوّة الكهرطيسيّة.
* يتعرّفُ تطبيقاتِ القوّةِ الكهرطيسيّة في حياتِه اليوميّة.
* يتعرّفُ جهازَ منتقي السّرعات.

الكلمات المفتاحية:

* قوَّةُ لورنز
* نظريَّةُ مكسويل
* مقياسُ غلفاني
* دولابُ بارلو



أجرّب وأستنتج:

المواد اللازمة: دارةُ أنبوبِ توليدِ الأشعّة المهبطيّة – مغناطيس مُستقيم.

خطوات التجربة:

1. أصلُ دارةَ أنبوبِ توليدِ الأشعّة المهبطيّة.
2. أغلقُ الدّارة لتتولّد حزمةٌ إلكترونيّة في أنبوبِ الأشعّة المهبطيّة، وألاحظُ شكّلَ مسارِ الحزمةِ الإلكترونيّة.
3. أقرّبُ القطبَ الشّمالي لمغناطيسٍ من الحزمة، وأراقبُ مسارَ الحزمةِ الإلكترونيّة، ماذا ألاحِظُ؟
4. أقرّبُ القطبَ الجنوبيَّ للمغناطيس، ماذا ألاحِظُ؟

شكل1



شكل2

النتائج:

- **يؤثّرُ الحقلُ المغناطيسيّ في الجُسيمات المشحونة المُتحرّكة ضمنَ المنطقة التي يسودُها الحقلُ بقوّةٍ مغناطيسيّة، حيثُ تُغيّرُ هذه القوّة من مسارِ حركةِ هذه الجُسيمات.**
- **تتغيّر جهةُ انحرافِ مسار الجُسَيمات المشحونة بتغيُّرِ جهة الحقل المغناطيسيّ المُؤثّر.**

العواملُ المُؤثّرة في شدّة القوّة المغناطيسيّة

أثبتَتِ التّجاربُ أنّ شدّة القوّة تتناسبُ طَرداً مع:

1. مقدارِ الشُّحنة المُتحرّكة q.
2. شدّةِ الحقل المغناطيسيّ المُؤثّرة B
3. سرعةِ الشُّحنة v
4. $\sin\theta$ حيثُ θ هي الزّاوية بينَ شُعاعِ سرعة الشُّحنة، وشُعاعِ الحقلِ المغناطيسيّ $\hat{\theta} = (\vec{v}\,\hat{,}\,\vec{B})$.

بناءً على ما تقدّمَ يمكنُ أن نكتبَ:

$$F = qvB\sin\theta$$

وتكونُ العبارةُ الشُّعاعيّة للقوّة المغناطيسيّة:

$$\vec{F} = q\vec{v} \wedge \vec{B}$$

عناصرُ شُعاعِ القوَّة المغناطيسيّة:

1. **نقطةُ التأثير:** الشُّحنة المُتحرِّكة.
2. **الحاملُ:** عموديٌّ على المُستوي المُحدَّد بشُعاعِ السّرعة وشُعاعِ الحقلِ المغناطيسيّ.
3. **الجهةُ:** تُحدَّدُ بقاعدةِ اليد اليُمنى وفق الآتي:
   - نجعلُ السّاعدَ يوازي شُعاعَ سرعةِ الشُّحنةِ المُتحرِّكة.
   - الأصابعُ بعكسِ جهةِ شُعاعِ السُّرعة للشَّحنات السَّالبة، وبجهةِ شُعاعِ السُّرعة للشَّحنات المُوجِبة.
   - يخرجُ شُعاعُ الحقل المغناطيسيّ من راحةِ الكفّ.
   - يشيرُ الإبهامُ إلى جهةِ القوَّة المغناطيسيّة.
4. **الشِّدَّة:** $F = qvB\sin\theta$

دراسةُ حركةِ جُسَيمٍ مشحونٍ (إلكترون) في حقلٍ مغناطيسيّ مُنتظَم:

تجربة ملفَّي هلمهولتز:

1. أركِّبُ الدَّارة المُبيَّنة بالشّكل المُجاور.
2. أولّد حزمةً من الإلكتروناتِ وألاحِظ مسارَ الحزمة.
3. أغلقُ دارةَ الملفَّين، ماذا ألاحِظُ؟
4. أغيّرُ من شدّة التيّار المارّ في الملفَّين، وألاحِظ مسارَ الحزمة، ماذا ألاحِظُ؟

النتائج:

- **يتولَّد حقلَ مغناطيسيّ مُنتظَم بينَ ملفَّين دائريَّين مُتوازيَّين يمرُّ فيهما التيّارُ ذاته.**
- **يؤثِّرُ الحقلُ المغناطيسيّ المُنتظَم في الحزمة الإلكترونيّة بقوة مغناطيسيّة، تكونُ دائماً عموديّةً على شُعاع سرعتِها، أي أنَّها تكتسِبُ تسارُعاً ثابتاً يُعامِدُ شُعاعَ السّرعة وبالتّالي تكونُ حركتُها دائريّةً مُنتظَمة، حيثُ $\vec{v}_0 \perp \vec{B}$ (لأنَّها خضعَت لتسارُعٍ جاذبٍ مركزيّ) أي يحدثُ تغيُّرٌ في حاملِ وجهةِ شُعاعِ السّرعة لا في قيمتها.**

استنتاجُ علاقةِ نصف قطر المَسار الدّائريّ لأحدِ الإلكترونات المُتحرِّكة ضمنَ المنطقةِ التي يَسودُها الحقلُ المغناطيسيّ المُنتظَم حيثُ: $\vec{v} \perp \vec{B}$

يخضعُ الإلكترونُ لتأثيرِ القوَّة المغناطيسيّة فقط بإهمالِ قوّةِ ثقله:

$$\sum \vec{F} = m_e\vec{a}$$

$$\vec{F} = m_e\vec{a}$$

$$\vec{e}v \wedge \vec{B} = m_e\vec{a}$$

$$\vec{a} = \frac{e}{m_e}\vec{v} \wedge \vec{B}$$

وبحسبِ خواصِّ الجداءِ الشُّعاعيّ فإنّ $\vec{v} \perp \vec{a}$، وبالتّالي الحركةُ دائريّةٌ مُنتظَمة

$$F = F_c$$

$$ev\,B = m_e\,a_c$$

$$ev\,B = m_e\,\frac{v^2}{r}$$

$$r = \frac{m_e v}{eB}$$

حيثُ m_e كتلةُ الإلكترون، و v سرعةُ الإلكترون، و e القيمةُ المُطلَقة لشحنةِ الإلكترون. و B شدّة شُعاع الحقل المغناطيسيّ. ويكون دورُ حركةِ الإلكترون

$$T = \frac{2\pi r}{v}$$

$$T = \frac{2\pi m_e}{eB}$$

القوَّةُ الكهرطيسيّة:



تجربة

خطوات التجربة:

1. أركّبُ دارةَ تجربةِ السّلك الموضَّحة بالشّكل
2. أغلق الدّارةَ وألاحِظُ زاويةَ انحرافِ السّلك عن الشّاقول، وجهة الانحراف.
3. أعكسُ جهةَ التيّار، وألاحِظ زاويةَ انحرافِ السّلك عن الشّاقول، وجهة الانحراف.
4. أعكسُ جهةَ الحقلِ المغناطيسيّ، وألاحِظُ زاويةَ انحرافِ السّلك عن الشّاقول، وجهة الانحراف.
5. أزيدُ شدّةَ التيّار، وألاحِظُ زاويةَ الانحراف.
6. أزيدُ شدّةَ الحقلِ المغناطيسيّ، وألاحِظُ زاويةَ الانحراف.

النتائج:

- **يؤثِّر الحقلُ المغناطيسيّ في السّلك النّاقل بقوَّةٍ ثابتة تُسمَّى القوَّة الكهرطيسيّة.**
- **تتعلّقُ جهةُ القوَّة الكهرطيسيّة بجهةِ التيّار، وجهةِ شُعاعِ الحقلِ المغناطيسيّ المُؤثِّرة.**

- **تـزدادُ شـدّةُ القـوَّة الكهرطيسـيّة بزيـادةِ كلٍّ مـن: شـدّةِ التيّـار المـارِّ بالسّـلك، وشـدّةِ الحقـل المغناطيسـيّ المُؤثِّـرة، وطـولِ الجـزءِ مـن النّاقـل المُسـتقيم الخاضـع للحقـل المغناطيسـيّ، وتتعلّـقُ بـ $\sin\theta$ حيـثُ θ الزّاويـة الكائنـة بيـنَ النّاقـلِ المُسـتقيم، وشُـعاعِ الحقـلِ المغناطيسـيّ المُؤثِّـر.**

استنتاجُ عبارةِ القوّةِ الكهرطيسيّة

إنّ الحقـلَ المغناطيسـيّ يؤثِّـرُ فـي السّـلك الـذي يمـرُّ فيـه تيّـارٌ كهربائـيّ بقـوّة كهرطيسـية تُسـاوي مُحصِّلـة القـوى المغناطيسـيَّة المُؤثِّـرة فـي الشّـحناتِ المُتحرِّكـة داخـلَ السّـلك (الإلكترونـات).

بفـرضِ أنَّ طـولَ السّـلك L، ومسـاحةَ مقطعِـه s، والكثافـةَ الحجميّـة للإلكترونـاتِ الحـرَّة فيـه n، يكـونُ عـددُ الإلكترونـاتِ الحـرَّة $N = nsL$.

وعنـدَ تطبيـق فـرقِ كمـونٍ بيـنَ طرفَـي السّـلك فـإنّ الإلكترونـاتِ الحـرّةَ تتحـرَّكُ بسـرعةٍ ثابتـةٍ $\vec{v}$، وتخضـعُ هـذه الإلكترونـاتُ إلـى تأثيـرِ القـوّةِ المغناطيسـيّة، فتكـونُ القـوّةُ الكهرطيسـيّة مُسـاويةً جـداءَ عـددِ الإلكترونـاتِ فـي القـوّة المغناطيسـيّة، أي:

$$F = n\, s\, L e v\, B \sin\theta$$

لكن: $v = \dfrac{L}{\Delta t}\,, N = nsL$

$$F = \frac{Ne}{\Delta t}(LB\sin\theta)$$

ولدينا: $q = Ne$

$$F = \frac{q}{\Delta t}(LB\sin\theta)$$

ولكن: $I = \dfrac{q}{\Delta t}$

وبالتالي:

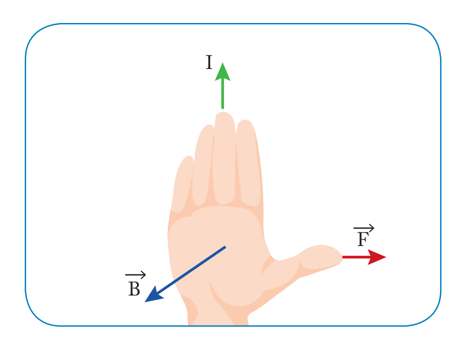
$$F = I\, L\, B \sin\theta$$

حيـثُ θ هـي الزّاويـة المحصـورة بيـنَ $\vec{B}$ و $I\vec{L}$ ويسـمّى الشّـعاع $I\vec{L}$ بشُـعاع التيّـار، الـذي حامله السّـلك، وجهتـه بجهـة التيّـار. وهـي العلاقـة المُعبِّـرة عـن شـدّة القـوّة الكهرطيسـيّة.

وتُكتبُ العبارةُ الشّعاعيّة للقوّة الكهرطيسيّة بالشّكل

$$\vec{F} = I\vec{L} \wedge \vec{B}$$

عناصرُ شُعاعِ القوّة الكهرطيسيّة:



1. **نقطـةُ التأثيـر:** مُنتصَـفُ الجـزءِ مـن النّاقـل المُسـتقيم الخاضِـع للحقـلِ المغناطيسـيّ المُنتظَـم.
2. **الحامـلُ:** عمـوديٌّ علـى المُسـتوي المُحـدَّد بالنّاقِـل المُسـتقيم وشُـعاعُ الحقـلِ المغناطيسـيّ.
3. **الجهـةُ:** تحقّـقُ الأشـعّة ($\vec{F},\vec{IL},\vec{B}$) ثلاثيّـةً مُباشَـرةً وفـقَ قاعـدةِ اليـدِ اليُمنـى:

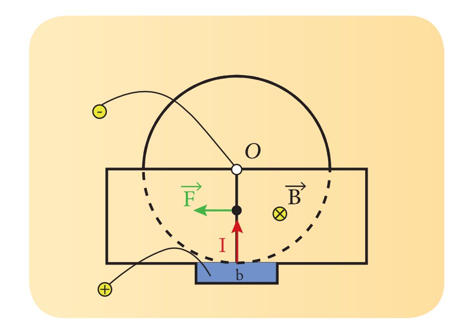
- نجعلُ اليـدَ اليمنـى مُنبسِطةً علـى النّاقـل بحيـث يدخـلُ التيّـارُ مـن السّـاعد، ويخـرجُ مـن رؤوس الأصابـع، ويخـرجُ شُـعاعُ الحقـل $\vec{B}$ ، مـن راحـةِ الكـفّ، فيشـيرُ الإبهـام إلـى جهـةِ القـوّة الكهرطيسـيّة $\vec{F}$.

4. **الشِّدَّة:** تُعطى بالعلاقةِ $F = IL\, B \sin\theta$

تجربةُ دولابِ بارلو:

تجربة

خطوات التجربة:



1. أركّـبُ دارةَ دولابِ بارلـو المبيّنـة بالشّـكل المُجـاوِر، حيـثُ يخضـعُ نصـفُ الـدّولاب السّـفليّ لحقـلِ مغناطيسـيّ مُنتظَـم.
2. أغلقُ الدّارةَ، وأُلاحِظُ جهةَ دورانِ الدّولاب.
3. أعكسُ جهةَ التيّار، وأُلاحِظُ جهةَ دورانِ الدّولاب.
4. أعكسُ جهةَ الحقلِ المغناطيسيّ، وأُلاحِظُ جهةَ الدَّوران.
5. أزيدُ شدّةَ التيّار، وأُلاحِظُ سرعةَ دوران الدُّولاب.
6. أزيدُ شدّةَ الحقل المغناطيسيّ، وأُلاحِظُ سرعةَ دوران الدُّولاب.
7. أحدّدُ عناصرَ القوّة التي سبّبت دورانَ الدُّولاب.



أستنتج

- عندَ إغلاقِ دارةِ الدّولاب فإنّه يدورُ بتأثيرِ عزمِ القوّة الكهرطيسيّة.
- عندَما تنعكسُ جهةُ التيّار أو جهةُ الحقلِ المغناطيسيّ فإنّ جهةَ الدَّورانِ تنعكسُ أيضاً.
- عناصرُ القوّة الكهرطيسيّة التي يخضعُ لها الدّولاب :

$\vec{F} = I\vec{r} \wedge \vec{B}$

1. **نقطةُ التّأثير:** مُنتصفُ نصفِ القطرِ الشّاقوليّ السّفليّ الخاضِع للحقلِ المغناطيسيّ المُنتظَم.
2. **الحامـلُ:** عمـوديٌّ علـى المُسـتوي المُحـدَّد بنصـفِ القطـرِ الشّـاقولي السّـفليّ وشُـعاع الحقـل المغناطيسـيّ المُنتظَـم.
3. **الجهةُ:** تُحقّقُ الأشعّةُ $\vec{F}, I\vec{r}, \vec{B}$ ثلاثيّةً مُباشَرةً وفقَ قاعدةِ اليد اليُمنى:
   - نجعلُ اليدَ اليُمنى مُنبسِطة على نصفِ القطرِ الشّاقوليّ السّفليّ.
   - يدخلُ التيّارُ من السّاعدِ، ويخرجُ من رؤوسِ الأصابع.
   - يخرجُ شُعاعُ الحقلِ المغناطيسيّ $\vec{B}$ من راحةِ الكفّ.
   - يشيرُ الإبهامُ إلى جهةِ القوّة الكهرطيسيّة $\vec{F}$
4. **الشِّدَّة:** تُعطَى بالعلاقة : $F = IrB$
5. حيثُ: $\theta = (I\vec{r}, \hat{\vec{B}}) = \frac{\pi}{2}\,\text{rad}$

$\sin\theta = 1$

عملُ القوّة الكهرطيسيّة (نظريّة مكسويل) :

تجربة السِّكّتَين الكهرطيسيّة

خطوات التجربة:

1. أركّبُ الدّارةَ المبيّنة بالشّكل.
2. أغلقُ الدّارةَ، وأُلاحِظُ ماذا يحدثُ للسّاق.
3. أفسّرُ سببَ تدحرجِ السّاق.
4. أحدّدُ نوعَ العمل الذي تنجزُه القوّةُ الكهرطيسيّة.

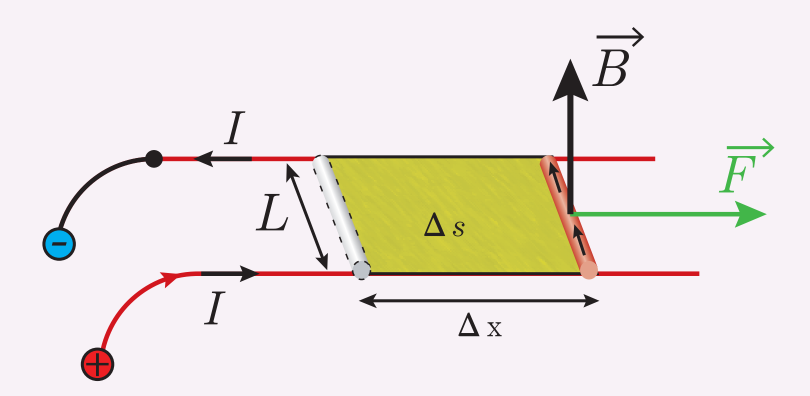




أستنتج

- تنتقـلُ السّـاقُ الأفقيّة مُوازِيـةً لنفسِـها مسـافةَ Δx ، فتمسـحُ سـطحاً $\Delta s = L\Delta x$ ، حيـثُ تنتقـلُ نقطـةُ تأثيـرِ القوَّة الكهرطيسـيّة على حاملِها وبجهتِها مسـافةُ Δx ، فتنجـزُ عمـلاً مُحـرِّكاً (مُوجِبـاً) $W > 0$.

$$W = F\Delta x$$
$$W = IBL\Delta x$$
$$W = IB\Delta s$$



- لكن $\Delta\Phi = B\Delta s > 0$ يمثلُ تزايدُ التّدفّقِ المغناطيسيّ نعوّضُ فنجدُ

$$W = I\Delta\Phi \rangle 0$$

نصُّ نظريّة مكسويل:

عندَمـا تنتقـلُ دارةٌ كهربائيّـةٌ أو جـزءٌ مـن دارةٍ كهربائيّـةٍ فـي منطقـةٍ يسـودُها حقـلٌ مغناطيسـيٌّ، فـإنَّ عمـلَ القـوَّة الكهرطيسـيّة المُسبِّبة لذلـكَ الانتقـالِ يسـاوي جـداءَ شـدّةِ التيّـار المـارِّ فـي الـدّارة فـي تزايُـد التّدفُّـق المغناطيسـيّ الـذي يجتازُهـا.

تأثيرُ الحقلِ المغناطيسيّ على إطارٍ مُستطيلٍ يمرُّ فيه تيّارٌ كهربائيّ.

أجرب وأستنتج:

المواد اللازمة: دارةُ الإطار المُستطيل

خطوات التجربة:

1. أركّبُ الدّارةَ المُبيَّنة بالشّكلِ المُجاورِ حيثُ خطوطُ الحقلِ المغناطيسيّ توازي مُستوي الإطار.
2. أمرِّرُ تيّاراً مُتواصِلاً شدتُه مُناسِبةٌ في الإطار، ماذا أُلاحِظُ؟
3. أستبدلُ بسلكِ التّعليق سلكاً قابِلاً للفتلِ، ثابِتُ فتلِه k، ماذا أُلاحِظُ؟

النتيجة:

عند إمرارِ التيّارِ الكهربائيّ في الإطارِ المُعلّق بسلكٍ عديمِ الفتل يدورُ ويستقرُّ عندما تصبحُ خطوطَ الحقل المغناطيسيّ عموديّةً على مُستوي الإطارِ (تدفّق أعظمي).

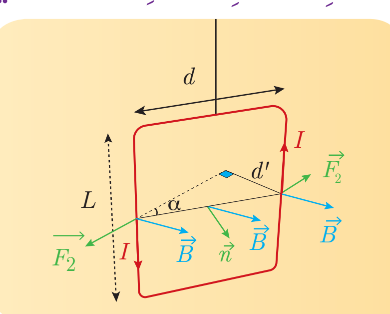
أفسِّرُ سبب دورانِ الإطار:

يؤثّرُ الحقلُ المغناطيسيّ المُنتظَم في الإطارِ بمُزدوَجة كهرطيسيّة تنشأُ عن القوّتَين الكهرطيسيّتَين المُؤثّرتَين في الضّلعَين الشّاقوليتَين، وتعملُ على تدويرِ الإطارِ حولَ محورِ دورانِه من وضعه الأصليّ حيثُ التّدفّقُ المغناطيسيّ معدومٌ إلى وضعِ توازنِه المُستقرّ حيثُ يكونُ التّدفّقُ المغناطيسيّ الذي يجتازُه أعظميّاً.

وبهذا نصلُ لما يسمّى قاعدةُ التّدفُّقِ الأعظميّ والتي تنصّ على ما يأتي:

إذا أثّرَ حقلٌ مغناطيسيّ في دارةٍ كهربائيّةٍ مُغلقةٍ حرّةِ الحركة، تحرّكت بحيثُ يزدادُ التّدفُّقُ المغناطيسيّ الذي يجتازُها من وجهِها الجنوبيّ وتستقرُّ في وضعٍ يكونُ التّدفُّقُ المغناطيسيّ أعظميّاً.

استنتاجُ عزمِ المُزدوَجة الكهرطيسيّة المُؤثّرة في إطارٍ طولِ ضلعِه الأفقيّ d ، والشّاقوليّ L



$$\Gamma_\Delta = d' F$$

d': طول ذراعُ المُزدوَجة الكهرطيسيّة

$$d' = d\sin\alpha$$

α: الزّاويةُ الكائنةُ بينَ شُعاعِ الحقلِ المغناطيسيّ $\vec{B}$ والنّاظم $\vec{n}$ على سطحِ الإطار

إنّ شدّةُ القوّة الكهرطيسيّة من أجلِ N لفّة معزولة ومُتماثِلة.

$$F = NILB\sin\frac{\pi}{2}$$

نعوّضُ فنجدُ $\Gamma_{\Delta} = NILBd\sin\alpha$

لكنّ $s = Ld$ مساحة سطحِ الإطار.

$$\Gamma_{\Delta} = NILBd\sin\alpha$$

وهي عبارةُ عزم المُزدوَجة الكهرطيسيّة

ملاحظة: يُسمّى الجداء NIs بالعزمِ المغناطيسيّ M.

$$\vec{M} = NI\vec{s}$$

وبذلك يمكنُنا أن نكتبَ علاقةَ عزمِ المُزدوَجة الكهرطيسيّة شُعاعياً بالشَّكل:

$$\vec{\Gamma}_{\Delta} = \vec{M} \wedge \vec{B}$$

$\vec{M}$ شُعاعُ العزمِ المغناطيسيّ ناظميّ على مُستوي الإطار، وجهتُه بجهةِ إبهام يدٍ يُمنى تلتفُّ أصابعُها بجهةِ التيّار (أي يخرجُ شعاع العزم المغناطيسيّ من الوجهِ الشمّالي للدّارة).

المقياسُ الغلفانيّ ذو الإطارِ المُتحرِّك.

هو جهازٌ يُستخدَمُ للاستدلال على وجودِ تيّاراتٍ كهربائيّةٍ صغيرةِ الشِّدَّة، وقياسها.

ممَّ يتكوَّنُ المقياسُ الغلفانيّ؟

يتألَّفُ من مَلَفٍّ على شكل إطارٍ مُستطيل يحتوي N لفة معزولة متماثلة، يتّصلُ أحدُ طرفَيه بسلكٍ قابلٍ للفتل، أمّا الطَّرفُ الآخرُ من سلكِ المَلَفّ فيتّصلُ بسلكٍ آخرَ شاقوليٍّ ليّنٍ عديمِ الفتل، ويمكنُ للإطار أن يدورَ حول محورِه الشّاقوليّ المارّ بمركزه بينَ قطبَي مغناطيسٍ نضويّ محيطاً بنواةٍ أسطوانيّةٍ من الحديدِ الليِّن، بحيثُ يكونُ مُستوي الإطارِ يوازي الخطوطَ الأفقيّة للحقلِ المغناطيسيّ للمغناطيس قبلَ إمرارِ التيّار.

مبدأُ عمله

عندما يمرُّ تيّارٌ كهربائيّ في الإطار فإنّه يدورُ بزاويةٍ صغيرةٍ θ' فيشيرُ مؤشِّرُ المقياسِ إلى قراءةٍ مُعيَّنة عندما يتوازنُ الإطارُ دالاً على قيمةِ شدّةِ التيّارِ المارّ.

استنتاجُ العلاقة بينَ زاويةِ دورانِ الإطار θ' والتيّارِ المارّ فيه I

عند إمرارِ التيّارِ الكهربائيّ المُرادِ قياسُ شدّتِه I في إطارِ المقياس، فإنَّ الحقلَ المغناطيسيّ المُنتظَم يؤثِّرُ في الإطار بمُزدوَجة كهرطيسيّة تسبِّبُ دورانَ الإطار حولَ محورِ دورانِه، فينشأُ في سلك الفتل مُزدوَجة فتلٍ تُمانِعُ استمرارَ الدّوران، ويتوازنُ الإطارُ بعدَ أن يدورَ بزاويةٍ صغيرةٍ θ' عندمَا يتحقَّقُ شرطَ التّوازُن الدَّورانيّ:

$$\sum \overline{\Gamma}_{\Delta} = 0$$
$$\overline{\Gamma}_{\Delta} + \overline{\Gamma}_{\vec{\eta}/\Delta} = 0$$
$$NIsB\sin\alpha - k\theta' = 0$$
$$\alpha + \theta' = \frac{\pi}{2}\text{rad}$$
$$\sin\alpha = \cos\theta'$$
$$NIsB\cos\theta' - k\theta' = 0$$

وباعتبارِ θ' زاويةٌ صغيرةٌ فإنَّ: $\cos\theta' \simeq 1$ وبالتالي تصبحُ العلاقةُ كما يأتي:

$$NIsB - k\theta' = 0$$
$$\theta' = \frac{NsB}{k}I$$
$$\theta' = GI$$

حيثُ G ثابِت المقياس الغلفانيّ يعبّرُ عن حساسيّةِ المقياسِ الغلفانيّ، حيثُ تزدادُ حساسيّةُ المقياسِ الغلفانيّ كلّما زادَت G، ويتمُّ ذلك عمليّاً باستبدالِ سلكِ الفتلِ بسلكٍ أرفعَ منه من المادّة نفسِها (لتصغير ثابتِ الفتلِ k).

جهازُ المقياسِ مُتعدِّد الأغراض (آفو متر)

يُستخدَمُ هذا الجهازُ لاستخداماتٍ عدّة مثل قياس:

1. التّوتُّر المُستمِرّ DC
2. التّوتُّر المُتناوِب AC
3. شدّة التيّار المُستمِرّ والمُتناوِب.
4. المُقاوَمات

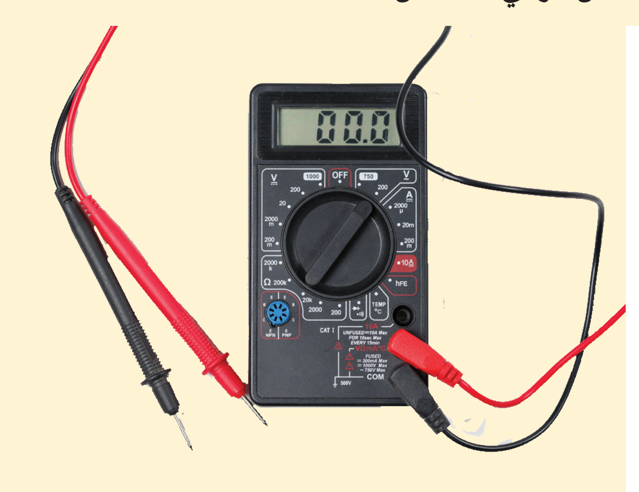
إثراء:

جهازُ آفو متر له نوعان

- **المقاييسُ التماثُليَة:** تبيّنُ القيمةَ المُرادَ قياسُها عن طريقِ إبرة مُؤشِّر (شكل 1)، حيثُ يجبُ وصلُ أطرافِ المقياسِ بشكلٍ صحيحٍ، فالطّرفُ الأحمرُ (+) والطّرفُ الأسودُ (−).
- **المقاييسُ الرَّقميّة:** تبيّنُ القيمةَ المُرادَ قياسُها عن طريقِ شاشةٍ تُظهِرُ القيمةَ على شكلِ أرقامٍ مُحدَّدةٍ (شكل 2).لذلكَ هي أدقُّ من المقاييسِ التّماثليّة، حيثُ لا يُشكِّلُ وضعُ طرفَي المقياسِ بشكلٍ صحيحٍ أهمّيّةً حيثُ يظهرُ الرّقمُ بإشارةٍ سالبةٍ إذا تمَّ عكسُ طرفَي المقياس.



(شكل 1)



(شكل 2)

تعلَّمتُ

- إنّ الجُسَيمات المشحونة المُتحرِّكة في حقلٍ مغناطيسيّ تخضعُ لقوّةٍ مغناطيسيّةٍ (قوّة لورنز)، تغيِّرُ من مَسارِ حركة هذه الجُسَيمات؛ أي تحدِثُ تغيُّراً في حامِلِ شُعاعِ سرعتِها.
- عناصرُ شُعاعِ القوّةِ المغناطيسيّة (قوة لورنز):
  1. نقطةُ التّأثير: الشُّحنةُ المُتحرِّكة.
  2. الحاملُ: عموديٌّ على المُستوي المُحدَّد بشُعاعِ السّرعة وشُعاعِ الحقلِ المغناطيسيّ.
  3. الجهةُ: تحقِّقُ الأشعة $(\vec{F}, q\vec{v}, \vec{B})$ ثلاثيّة مباشرة وفق قاعدة اليد اليمنى: نجعل اليدَ اليمنى مُنبسطةً على النّاقل بحيثُ يدخلُ التيّارُ من السّاعد ويخرجُ من رؤوس الأصابع، ويخرجُ شُعاعُ الحقل $\vec{B}$ من راحةِ الكفِّ، فيشيرُ الإبهامُ إلى جهةِ القوّةِ الكهرطيسيّة $\vec{F}$.
  4. الشِّدّة: $F = qvB\sin\theta$
- عندَما تخضعُ الحزمةُ الإلكترونيّة لحقلٍ مغناطيسيّ مُنتظَمٍ متولِّد بينَ مَلفَّين دائريَّين مُتوازيَين ومارٍّ بهما نفسُ التيّار، فإنَّها تتأثّرُ بقوّةٍ مغناطيسيّةٍ (قوّة لورنز) تكونُ دائماً عموديّةً على شُعاعِ سرعتِها، أي أنّها تكتسِبُ تسارُعاً ثابتاً يُعامِدُ شُعاعَ السُّرعةِ، وبالتّالي تكونُ حركتُها دائريّةً مُنتظَمةً (لأنَّها خضعَت لتسارُعٍ جاذبٍ مركزيّ) أي يحدثُ تغيُّرٌ في حاملِ وجهةِ شُعاعِ السّرعة لا في مقدارِها.

- **عناصرُ شُعاعِ القوّةِ الكهرطيسيّة:**
  1. **نقطة التّأثير:** مُنتصَفُ الجزءِ من النّاقل المُستقيم الخاضع للحقلِ المغناطيسيِّ المُنتظَم
  2. **الحامل:** عموديٌّ على المُستوي المُحدَّد بالنّاقل المُستقيم وشُعاع الحقلِ المغناطيسيّ.
  3. **الجهـةُ:** تُحقِّـقُ الأشـعّةُ $(\overrightarrow{F}, \overrightarrow{IL}, \overrightarrow{B})$ ثلاثيّـةً مُباشَـرةً وفـقَ قاعـدةِ اليـد اليُمنـى: نجعـلُ اليـدَ اليُمنـى مُنبسِطة على الناقـل. يدخـلُ التيّـارُ مـن السّـاعدِ، ويخـرجُ مـن رؤوسِ الأصابـع. يخـرجُ شُـعاعُ الحقـلِ المغناطيسـيّ $\overrightarrow{B}$ مـن راحـةِ الكـفّ. يشـيرُ الإبهـامُ إلـى جهـةِ القـوّة الكهرطيسـيّة $\overrightarrow{F}$.
  4. **الشِّدَّة:** تُعطى بالعلاقة: $F = ILB\sin\theta$

- **نـصُّ نظريّـة مكسـويل:** عندمـا تنتقـلُ دارة كهربائيّـة – أو جـزء مـن دارة كهربائيّـة – فـي منطقـة يسـودها حقـل مغناطيسـيّ، فـإنَّ عمـل القـوّة الكهرطيسـيّة المسـبِّبة لذلـك الانتقـال يسـاوي جـداء شـدّة التيّـار المـارّ فـي الـدارة فـي تزايـد التدفّـق.

- **عـزم المُزدوَجـة الكهرطيسـيّة المُؤثِّـرة فـي مَلـفّ يعطـى بالعلاقـة:** $\Gamma = ISB\sin\alpha$ و إذا احتـوى المَلـفّ علـى N لفـة يعطـى بالعلاقـة $\Gamma = NISB\sin\alpha$

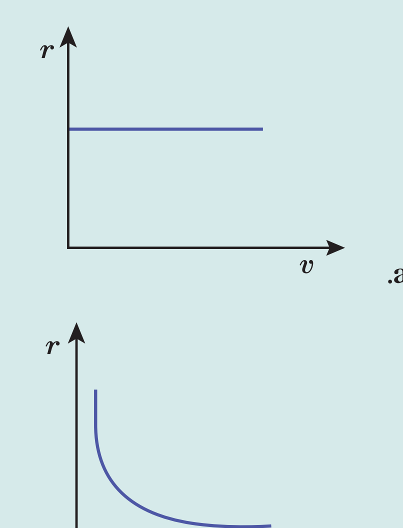
- **المقيـاس الغلفانـي ذو الإطـار المُتحـرِّك:** هـو جهـازٌ يُسـتخدَمُ للاسـتدلالِ علـى وجـودِ تيّـاراتٍ كهربائيّـةٍ صغيـرةٍ جـدّاً، وقيـاسِ شـدّاتِها.



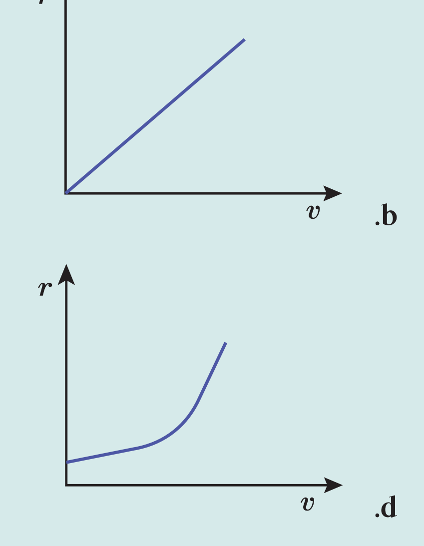
أختبر نفسي

أولا: اخترِ الإجابةَ الصَّحيحة في كلٍّ ممَّا يأتي:

1. جُسَـيماتٌ مشـحونةٌ لهـا الكتلـةُ نفسُـها والشُّـحنةُ نفسُـها، أُدخلـت فـي منطقـة يسـودها حقـل مغناطيسـيّ مُنتظَـم بسـرعة تعامـد خطـوط الحقـل. فـإنَّ الشّـكل الـذي يمثّـل العلاقـة بيـنَ نصـف قطـر المسـار الدائـري r وسـرعة الجُسَـيمات المشـحونة v:



.a .c



.b .d

2. إنَّ واحدةَ قياسِ النّسبة $\frac{E}{B}$ هي :

a. $m.s^{-1}$ b. $m.s^{-2}$ c. m d. s

3. عندمـا يدخـلُ الإلكتـرونُ فـي منطقـةٍ يسـودُها حقـلٌ مغناطيسـيٌّ مُنتظَـمٌ بسـرعةِ $\vec{v}$، تعامِـدُ خطـوطُ الحقـلِ المغناطيسـيّ (بإهمـالِ ثقـلِ الإلكتـرون) فـإنَّ حركـةَ الإلكتـرونِ داخـلَ الحقـلِ هـي:

a. دائريَّةٌ مُتغيّرةٌ بانتظام b. دائريّةٌ مُنتظَمةٌ c. مُستقيمةٌ مُنتظَمةٌ d. مُستقيمةٌ مُتغيّرةٌ بانتظام

4. عندَما يدخلُ جسمٌ مشحونٌ في منطقةٍ يسودُها حقلٌ مغناطيسيٌّ مُنتظَمٌ، فإنَّ شُعاعاً سرعتُه $\vec{v}$:

a. يتغيَّرُ حاملُه وشدّتُه b. يتغيَّرُ حاملُه فقط c. تتغيَّرُ شدّتُه فقط d. تبقى شدّتُه ثابتةً.

5. عندما تتدحرجُ السَّاقُ في تجربةِ السّكّتَينِ الكهرطيسيّة تحتَ تأثيرِ القوّة الكهرطيسيّة، فإنَّ التّدفّقَ المغناطيسيّ:

a. يبقى ثابتاً. b. يزدادُ. c. يتناقصُ. d. ينعدمُ.

ثانياً: أجبْ عن الأسئلةِ الآتيةِ

1. ادرسِ التّأثيرَ المُتبادَلَ بينَ سلكَينِ نحاسيَّينِ شاقوليَّينِ طويلَينِ يمرُّ بهما تيّارانِ مُتواصِلانِ لهما الجهةُ نفسُها، واستنتجْ عبارةَ القوّةِ الكهرطيسيّةِ المُؤثِّرةِ في أحدِ السِّلكَينِ نتيجةَ وجودِ السِّلكِ الآخرِ.
2. استنتجْ عبارةَ شدَّةِ الحقلِ المغناطيسيّ المُؤثِّرةِ في شحنةٍ كهربائيّةٍ تتحرَّكُ في حقلٍ مغناطيسيّ مُنتظَمٍ بسرعةِ $\vec{v}$ تعامِدُ شُعاعَ الحقلِ المغناطيسيّ ثمَّ عرِّفِ التّسلا.
3. بيِّنْ كيفَ يتمُّ قياسُ شدّةِ التيّارِ في المقياسِ الغلفانيّ، ثمَّ استنتجِ العلاقةَ بينَ شدَّةِ التيّارِ I وزاويةِ دَورانِ الإطارِ (θ')، وكيفَ تتمُّ زيادةُ حساسيَّةِ المقياسِ الغلفانيّ عمليّاً مِن أجلِ التيّارِ نفسِه.

ثالثاً: حل المسائل الآتية:

المسألة الأولى:

في تجربةِ السِّكَتين الكهرطيسيّة، تستندُ ساقٌ نحاسيّة كتلتُها $16g$ إلى سكَّتَينِ أفقيّتَين حيثُ يؤثِّرُ على $4\,cm$ من الجزءِ المتوسِّط منها حقلٌ مغناطيسيٌّ مُنتظَمٌ شاقوليٌّ شدّتُه $40\ T$ ويمرُّ بها تيّارٌ شدّتُه $40\ A$ ،

المطلوب:

1. حدِّدْ بالكتابةِ والرَّسمِ عناصرَ شُعاعِ القوّةِ الكهرطيسيّة، ثمَّ احسبْ شدّتُها.
2. احسبْ قيمةَ العملِ الذي تنجزه القوَّة الكهرطيسيّة عندما تنتقل الساق مسافة $15\,cm$.
3. احسبْ قيمةَ الزَّاويةِ الّتي يجبُ إمالةُ السِّكتَين بها عن الأفقِ حتّى تتوازنُ السَّاق والدّارة مُغلَقة (بإهمال قوى الاحتكاك).

المسألة الثانية:

نعلِّقُ سلكاً نحاسيّاً ثخيناً طولُه $60cm$ وكتلتُه $50g$ من طرفِهِ العلويّ شاقوليّاً، ونغمسُ طرفَه السّفليّ في حوضٍ يحتوي الزّئبقَ. نمرِّرُ تيّاراً كهربائيّاً مُتواصِلاً شدّتُه $10A$ ، حيثُ يؤثِّرُ حقلٌ مغناطيسيٌّ مُنتظَمٌ أفقيٌّ شدّتُه $B = 3 \times 10^{-2}\,T$ على قطعةٍ منه، طولُها $4cm$ يبعدُ مُنتصَفُها عن نقطةِ التّعليقِ $50cm$.

استنتِجْ العلاقةَ المُحدَّدَة لزاويةِ انحرافِ السِّلك عن الشّاقول بدلالةِ أحدِ نِسبِها المثلّثيّة، ثمَّ احسبْها.

المسألة الثّالثة:

إطارٌ مُستطِيلُ الشَّكل يحتوي 100 لفةٍ من سلكٍ نُحاسيٍّ معزولٍ مساحتُه $4\pi\,cm^2$.

a. نعلِّقُ الإطارَ بسلكٍ عديمِ الفتلِ شاقوليّ، ونخضعُه لحقلِ مغناطيسيٍّ مُنتظَمٍ أفقيٍّ شدّتُه $B = 4 \times 10^{-2}\,T$ ، خطوطُه تُوازي مُستوي الإطارِ الشّاقوليّ، نمرِّرُ في الإطارِ تيّاراً شدّتُه $\frac{1}{10\pi}\,A$ ،

1. عزمِ المُزدوَجة الكهرطيسيّة التي يخضعُ لها الإطارُ لحظةَ إمرارِ التيّار.
2. عملِ المُزدوَجة الكهرطيسيّة عندَما يدورُ الإطارُ من وضعِه السَّابق إلى وضعِ التَّوازُنِ المُستقِرّ.

b. نقطعُ التيّارَ ونستبدلُ سلكَ التّعليق بسلكٍ فتلٍ شاقوليٍّ ثابتٍ فتلُه K ، بحيثُ يكونُ مُستوي الإطار يوازي خطوطَ الحقلِ المغناطيسيّ السّابق، ونمرِّرُ تيّاراً شدّتُه $2mA$ ، فيدورُ الإطارُ زاوية $30°$ ، ثمَّ يتوازنُ.

المطلوب:

1. احسبِ التّدفّق المغناطيسيّ في الإطارِ عندَما يتوازَن.
2. استنتج العلاقةَ المُحدِّدةَ لثابتِ فتلِ سلكِ التّعليق انطلاقاً من شرطِ التَّوازُن الدّورانيّ، ثمَّ احسبْ قيمتَه.

(يهملُ تأثيرَ الحقلِ المغناطيسيّ الأرضيّ).

المسألة الرَّابِعة:

دولابُ بارلـو قطـرُه $20\,cm$، يمـرَّرُ فيـه كهربائـيّ مُتواصِـلٌ I، ويخضـعُ نصـفُ القـرصِ السّـفليّ لحقـلٍ مغناطيسـيٍّ أفقـيٍّ مُنتظـمٍ شـدَّتُه $B = 10^{-2}\,T$، فيتأثَّـرُ الـدُّولابُ بقـوَّةٍ كهرطيسـيّةٍ شـدَّتُها $F = 4 \times 10^{-1}\,N$

المطلوب:

1. بيِّنْ بالرّسمِ جهةَ كلٍّ من $(\vec{F}, \vec{B}, I\vec{L})$.
2. احسبْ شدّةَ التيّارِ المارّ في الدّولاب.
3. احسبْ عزمَ القوّةِ الكهرطيسيّةِ المُؤثّرةِ في الدُّولاب.
4. احسبْ قيمةَ الكتلةِ الواجبِ تعليقُها على طرفِ نصفِ القطرِ الأفقيّ للدُّولابِ لمنعِه عن الدَّوران.



تفكير ناقد

جسـمٌ مشـحونٌ يتحـرَّكُ فـي منطقـةٍ يسـودُها حقـلٌ مغناطيسـيٌّ مُنتظَـمٌ يعامـدُ حقـلاً كهربائيّـاً مُنتظَمـاً بسـرعةٍ تُعامِـدُ كلٌّ منهمـا، بيّـنْ متـى يصبـحُ مسـارُه مُسـتقيماً، ومتـى يكـونُ دائريَّـاً.

أبحث أكثر

ابحث في استخدامِ البروتوناتِ المُتسارِعة في علاجِ الأمراضِ السَّرطانيّة.



3 التحريض الكهرطيسي

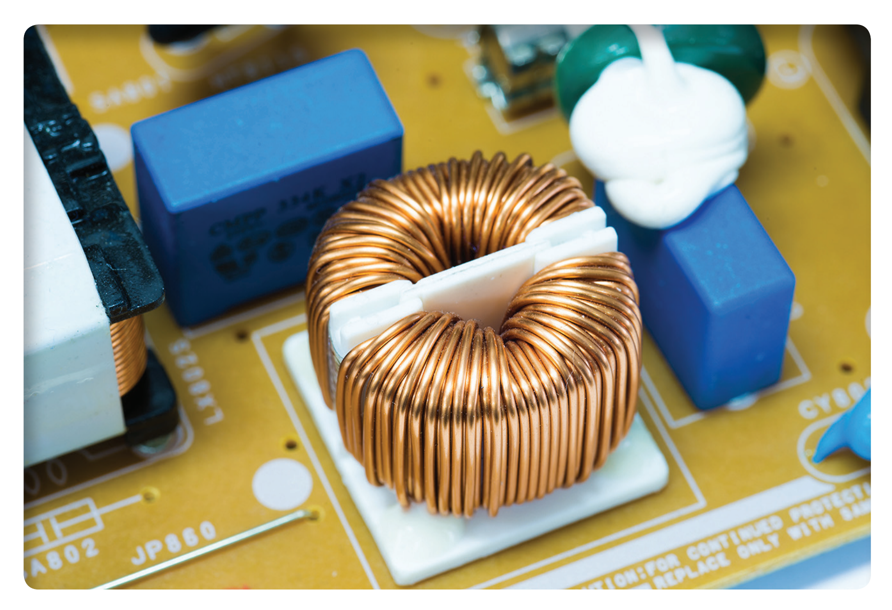


الأهداف:

* يفسِّرُ تجريبيّاً توليدَ التيّارِ المُتحرِّض.
* يذكرُ قانونَي التَّحريض الكهرطيسيّ.
* يفسِّرُ علاقاتِ التَّحريض الكهرطيسيّ.
* يتعرَّفُ تطبيقاتِ التَّحريض الكهرطيسيّ في حياتِه اليوميّة.
* يوضِّحُ التَّحريضَ الذّاتيّ.
* يستنتِجُ علاقة ذاتية وشيعة.
* يستنتِجُ عبارةَ الطّاقةِ الكهرطيسيّة المُختزَنة في الوشيعة.
* يثمِّنُ تطبيقاتِ التَّحريض الكهرطيسيّ.

الكلمات المفتاحية:

* تحريضٌ كهرطيسيٌّ
* تيّارٌ كهربائيٌّ مُتحرّضٌ
* حقلٌ مغناطيسيٌّ مُتحرِّضٌ
* قوَّةٌ مُحرِّكةٌ كهربائيّةٌ مُتحرِّضةٌ
* مولِّدٌ
* تيّارٌ مُتناوِبٌ جيبيٌّ
* مُحرِّكٌ
* تيّاراتُ فوكو
* تحريضٌ ذاتيٌّ
* ذاتيّةُ الوشيعةِ
* طاقةٌ كهرطيسيَّة.



في ظلِّ الطّلبِ المُتزايدِ على الطَّاقةِ ولاسيَّما الطّاقةِ الكهربائيَّةِ تزدادُ الحاجةُ للبحثِ عن مصادرَ جديدةٍ لها، وقد تمَّ استثمارُ المصادرِ الطّبيعيّةِ كالمياهِ والرّياحِ للحصولِ على الطّاقة ولاسيَّما النّظيفةِ منها، فبُنيَتِ السُّدودُ ووضِعَت على فَتحاتِها عنفاتٌ لتحويلِ الطّاقة الميكانيكيَّة للماءِ إلى طاقةٍ كهربائيَّة، فما مبدأُ عملِ هذه العنفاتِ؟
وما مبدأُ توليدِ التيّارِ الكهربائيّ والحصولِ على الطَّاقة الكهربائيّة.

قانونُ فاراداي :

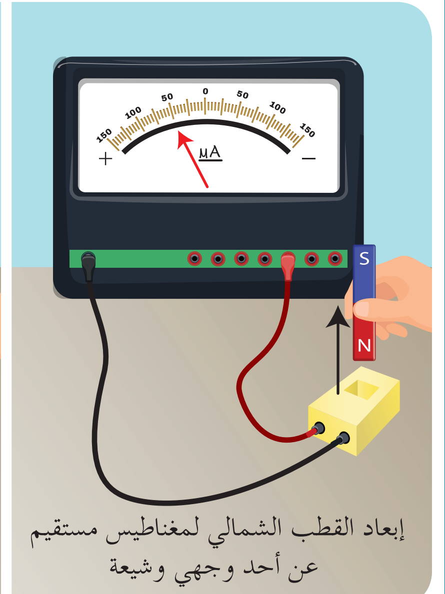
أجرّب وأستنتج:

تجربة (1)

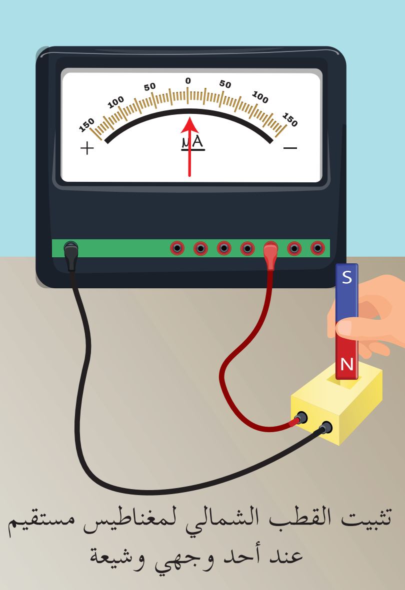
المواد اللازمة: حقيبةُ المغناطيسيّة.

خطوات التجربة:

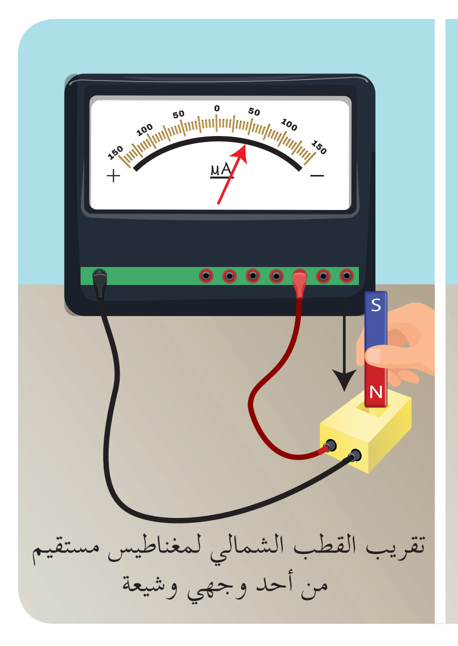
1. أركِّبُ الدّارةَ الموضَّحة بالشَّكل.
2. أقرّبُ أحدَ قطبَي المغناطيسِ من أحدِ وجهَي الوشيعة وفق محورِها، وأراقبُ مُؤشّرَ مقياسِ الميكرو أمبير، ماذا أُلاحِظُ؟
3. أثبّتُ المغناطيسَ عندَ أحدِ الوجهَين، وأراقبُ مؤشّرَ المقياسِ، ماذا أُلاحِظُ؟
4. أُبعِدُ المغناطيسَ عن وجهِ الوشيعة، وأراقبُ مؤشّرَ المقياس، ماذا أُلاحِظُ؟
5. أكرّرُ التّجربة السّابقة بتقريبِ وإبعادِ المغناطيسِ خلالَ زمنٍ أقلَّ (زيادة سرعة تقريب وإبعاد المغناطيس)، ما الذي يحدثُ لمؤشِّرِ المقياس؟



إبعاد القطب الشمالي لمغناطيس مستقيم عن أحد وجهي وشيعة



تثبيت القطب الشمالي لمغناطيس مستقيم عند أحد وجهي وشيعة



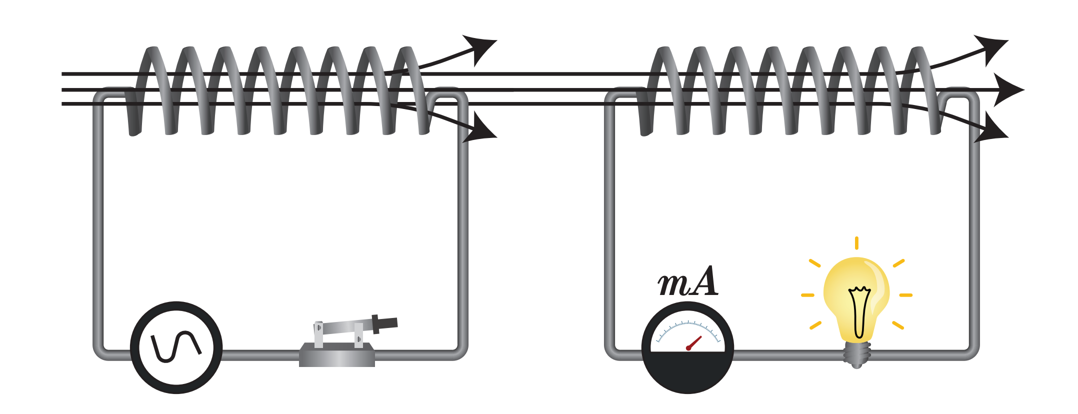
تقريب القطب الشمالي لمغناطيس مستقيم من أحد وجهي وشيعة

تجربة (2)

المواد اللازمة: وشيعتانِ – مولّدُ تيّارٍ مُتناوبٍ جيبيّ– مولّدُ تيّارٍ مُتواصِلٍ– مِصباحٌ كهربائيٌّ– أسلاكُ توصيلٍ– مِقياسُ ميلي أمبير.

خطوات التجربة:

1. أصلُ طرفَي الوشيعةِ الأولى بمأخذٍ لمولّدِ تيّارٍ كهربائيّ مُتناوبٍ جيبي.
2. أضعُ الوشيعةَ الثّانيةَ ليكونَ محورُها مُنطبِقاً على محورِ الوشيعةِ الأولى، وأصلُ طرفَيها بوساطةِ أسلاكِ التوصيلِ إلى المِصباحِ الكهربائيّ ومِقياسِ ميكرو أمبير.
3. أغلقُ دارةَ الوشيعةِ الأولى، وأراقبُ المِصباحَ الكهربائيّ، ومقياسَ الميلي أمبير في الدَّارة الثّانية، ماذا أُلاحِظُ؟
4. أكرّرُ التّجربةَ السّابقةَ بعدَ استبدالِ مولدِ التيّارِ المُتواصِلِ بمولّدِ التيّارِ المُتناوبِ، ماذا أُلاحِظُ؟



النَّتيجةُ:

- **تولُّدُ تيّارٌ كهربائيٌّ في الدّارةِ الثّانيةِ الحاويةِ على مصباحٍ ومقياسِ ميلي أمبير على الرَّغمِ من عدمِ وجودِ مُولِّدٍ فيها، لذا نقولُ أنَّ التيّارَ المُتولّدَ في الدَّارةِ الثّانيةِ ناتجٌ عن التَّحريضِ الكهرطيسيّ، ويُدعى بالتيّارِ الكهربائيّ المُتحرِّض.**

كيفَ أفسّرُ هذه الظّاهرة:

1. إنَّ تقريبَ المغناطيسِ أو إبعادَه يؤدّي إلى تغيُّرِ التّدفُّقِ المغناطيسيّ (بالزّيادة أو بالنّقصان) وبالتّالي تنشأُ قوّةٌ مُحرّكةٌ كهربائيّةٌ مُتحرِّضة تسبّبُ مرورَ التيّار الكهربائيّ المُتحرِّض.
2. إنّ إضاءةَ المِصباحِ الموصولِ بينَ طرفَي الوشيعةِ الثّانيةِ وانحرافِ مؤشّرِ مقياسِ الميكرو أمبير، فيها يدلُّ على نشوءِ تيّارٍ مُتحرِّضٍ على الرَّغمِ من عدمِ تحريكِ أيٍّ من الوشيعتَين، ويعلِّلُ ذلكَ أنَّ الوشيعةَ الأولى تولّدُ حقلاً مغناطيسيّاً مُتناوِباً جيبيّاً فيتغيّرُ التّدفُّق المغناطيسيّ الذي يجتازُ الوشيعةَ الثّانية، وتتولّدُ قوّةٌ محرِّكةٌ كهربائيّةٌ مُتحرِّضة تسبِّبُ مرورَ التيّارِ الكهربائيّ المُتحرِّض.

قانونُ فارداي

- **يتولّدُ تيّارٌ كهربائي مُتحرِّضٌ في دارةٍ مُغلّقةٍ إذا تغيّرَ التّدفّقُ المغناطيسيّ الّذي يجتازُها ويدومُ هذا التيّارُ بدوامِ تغيُّرِ التّدفُّق لينعدم عند ثبات التدفق المغناطيسيّ المحرّض.**

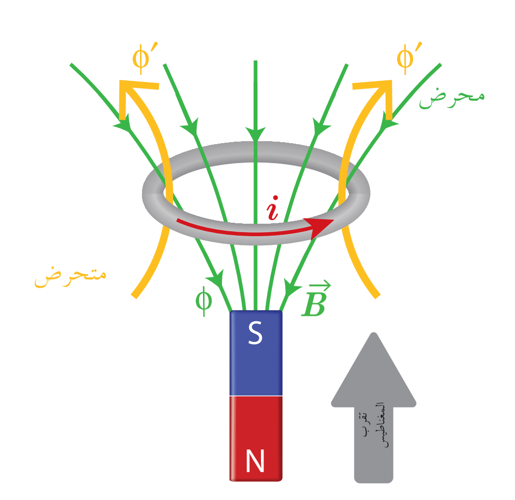
قانون لنز:

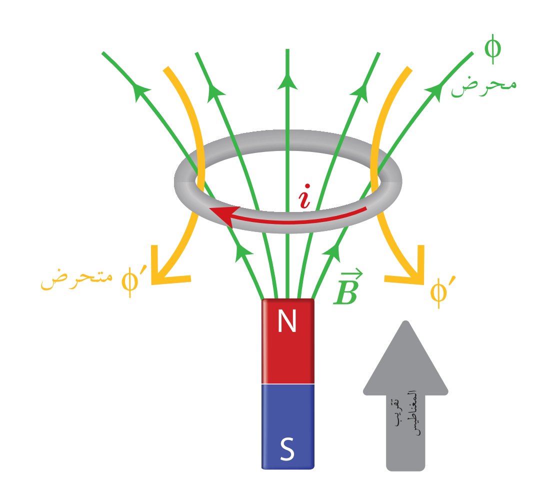
أجرّب وأستنتج:

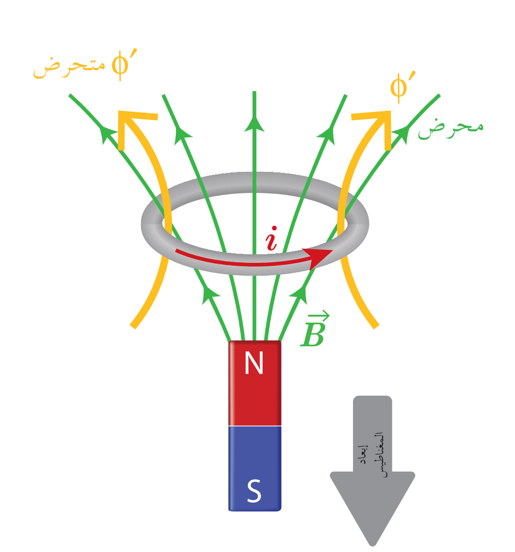
المواد اللازمة: وشيعةٌ – أسلاكُ توصيلٍ – مقياسُ ميلي أمبير صفرُه في الوسط – مأخذُ تيّارٍ كهربائيٍّ مُتواصِلٍ– إبرةٌ مغناطيسيّةٌ حاملُها شاقوليّ.

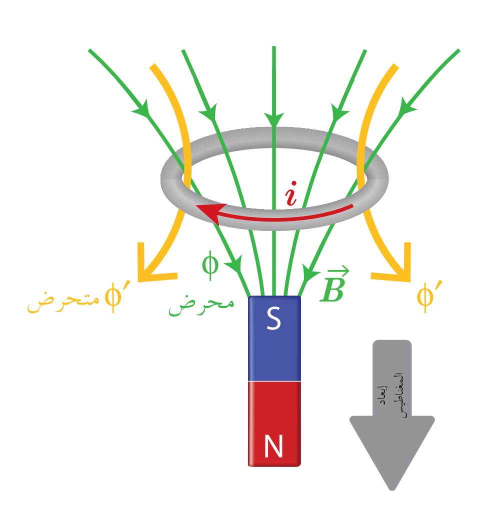
خطوات التجربة:

1. أصلُ بينَ طرفَي المولّد على التّسلسُلِ وشيعة، مقياس الميكرو أمبير، قاطعة.
2. أغلِقُ الدارة، وأحدِّدُ الوجهَ الشّمالي والوجه الجنوبي للوشيعة، وأراقبُ جهةَ انحرافِ مؤشّرِ المقياس.
3. أرفعُ مأخذَ التيّارِ المُتواصِل، وأعيدُ إغلاقَ الدّارة من جديد.
4. أقرّبُ من الوشيعةِ وفقَ محورِها قطباً شمالياً لمغناطيسٍ مُستقيم، وأراقبُ جهةَ انحرافِ مؤشّرِ المقياسِ الغلفانيّ، وأحدِّدُ الوجهَ الشّمالي والوجهَ الجنوبي للوشيعةِ، عندَئذٍ ماذا ألاحِظُ؟
5. أُبعِدُ القطبَ الشّمالي للمغناطيسِ عن وجهِ الوشيعة، ماذا يطرأُ على جهةِ انحرافِ مؤشّرِ المقياسِ؟ وأحدِّدُ الوجهَ الشّمالي والوجهَ الجنوبي للوشيعة، عندئذٍ ماذا ألاحِظُ؟









النّتائجُ:

- **إنّ تقريبَ القطبِ الشّمالي من أحدِ وجهَي الوشيعةِ يولِّدُ فيها تيّاراً كهربائيّاً مُتحرِّضاً فيولّدُ بدورِه حقلاً مغناطيسيّاً مُتحرِّضاً، جهتُه بعكسِ جهةِ الحقلِ النّاجم عن المغناطيس المُحرِّض الذي قرّبناه من وجهِ الوشيعة، وكذلك الأمر بالنّسبة إلى تقريب القطب الجنوبيّ.**
- **إنّ إبعادَ القطبِ الشّمالي للمغناطيس المُحرِّض عن أحدِ وجهَي الوشيعةِ يؤدّي إلى تولُّد تيّارٍ مُتحرِّضٍ في الوشيعةِ يولّد بدورِه حقلاً مغناطيسيّاً مُتحرِّضاً تتفِّقُ جهتُه مع جهةِ الحقلِ الناجم عن المغناطيسِ المُحرِّض، وكذلك الأمرُ بالنّسبة إلى إبعادِ القطبِ الجنوبيّ.**
- **إنّ التيّارَ المُتحرِّض يُظهِرُ أفعالاً تعاكِسُ سببَ حدوثِه، فالوشيعةُ تسعى لإنقاصِ التّدفُّق المغناطيسيّ الّذي يجتازُها في حالِ تزايدِ التّدفُّق المغناطيسيّ المُحرِض النّاجم عن تقريب المغناطيس، وتسعى لزيادةِ التّدفُّق المغناطيسيّ الذي يجتازُها في حالةِ إنقاصِ التّدفُّق المغناطيسيّ المُحرِّض النّاجم عن إبعادِ المغناطيس.**

قانونُ لنز

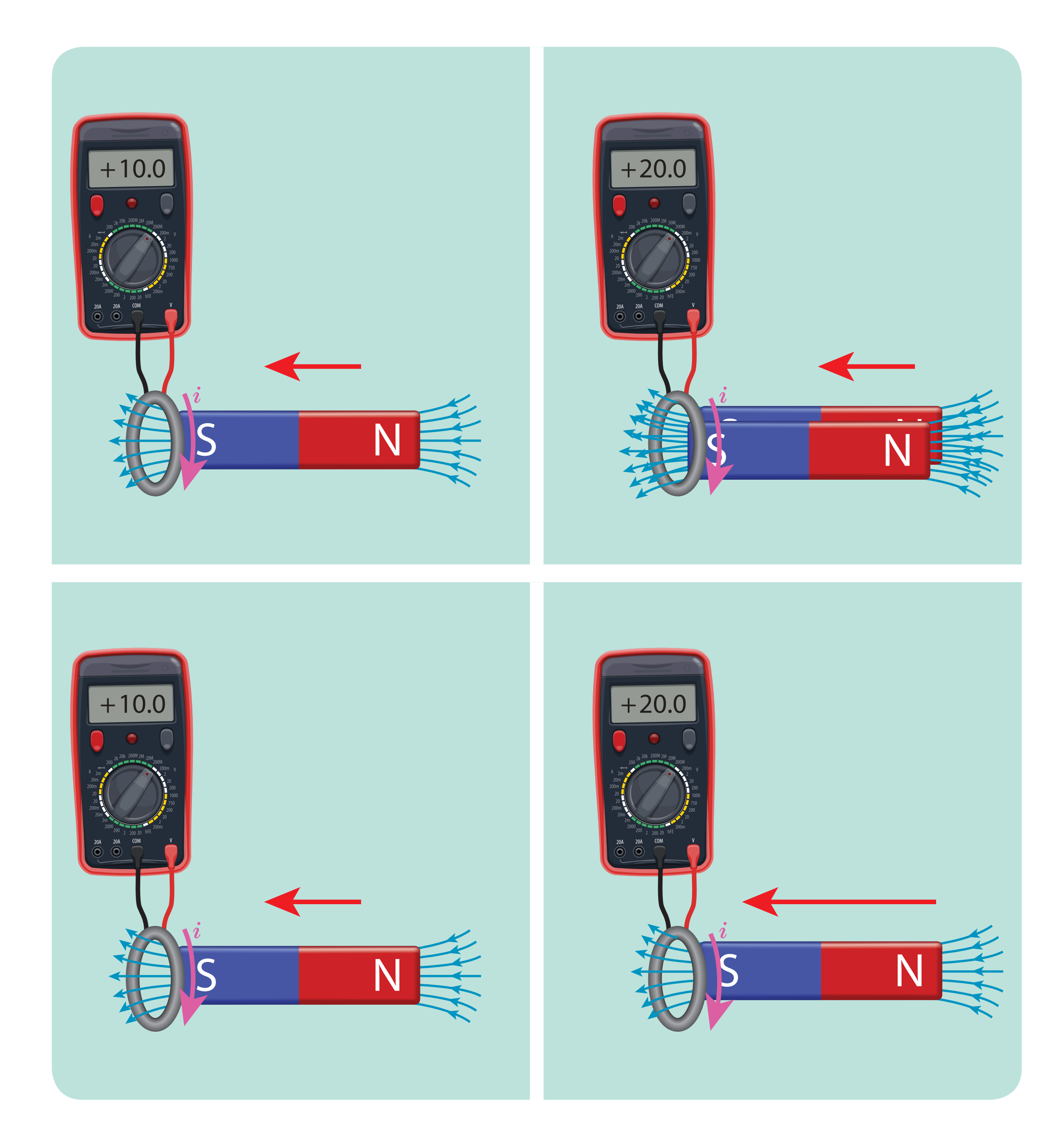
- **إنّ جهةَ التيّار المُتحرِّض في دارةٍ مُغلَّقة تكونُ بحيثُ يُنتِجُ أفعالاً تعاكِسُ السَّببَ الذي أدّى إلى حدوثِه.**

القوّة المُحرِّكة الكهربائيّة المُتحرِّضة:

- **إنّ مرورَ تيّارٍ كهربائيّ في أيِّ دارةٍ مُغلقة يكافئُ وضعَ مولِّدٍ فيها يمتازُ بقوّةٍ مُحرِّكةٍ كهربائيّةٍ مُتحرِّضةٍ ε. فما العواملُ التي تتوقّفُ عليها القوّةُ المُحرِّكة الكهربائيّة المُتحرِّضة؟**

نشاط (1):

1. أستبدلُ بمقياسِ الميكرو أمبير في التَّجربة (1) مقياسَ ميلي فولت.
2. أقرّبُ المغناطيسَ وفقَ محورِ الوشيعة، وأسجّلُ القيمةَ العظمى للقوّةِ المُحرِّكة الكهربائيّة المُتحرِّضة المُتولِّدة ε_1 التي نقرؤها على مقياس الميلي فولت.
3. أعيدُ التَّجربةَ حيثُ ألصِقُ بالمغناطيس مغناطيساً آخرَ مُماثِلاً له بشكلٍ تنطبقُ فيه الأقطابُ المُتماثِلة على بعضِها، وأقرّبُ جملةَ المغناطيسَين وفق محور الوشيعة خلالَ الزّمن نفسِه تقريباً، وأسجِّلُ القيمةَ العُظمى للقوَّة المُحرّكة الكهربائيّة المُتحرِّضة بقراءتها على مقياس الميلي فولت ولتكن ε_2.
4. أعيد التَّجربة السّابقة بمغناطيسٍ واحدٍ، وأقرِّبه من الوشيعة وفقَ محورِها بزمنٍ أقلَّ بحيثُ يصبحُ نصفَ ما كانَ عليه تقريباً، وأسجِّلُ القيمةَ العُظمى للقوَّة المُحرّكة الكهربائيّة المُتحرِّضة ε_3. ماذا أُلاحِظُ؟ وماذا أستنتجُ؟



النّتائجُ:

- تتناسبُ القوّةُ المُحرِّكة الكهربائيّة المُتحرِّضة $\bar{\varepsilon}$:
  1. طرداً معَ تغيّر التدفق المغناطيسيّ المُحرِّض $d\Phi$.
  2. عكساً معَ زمنِ تغيُّر التّدفُّق المغناطيسيّ المُحرِّض dt.

- بناءً على ما سبقَ يمكنُنا أن نعبِّرَ رياضياً عن قانونِ فاراداي بالعلاقة الآتية:

$$\bar{\varepsilon} = -\frac{d\Phi}{dt}$$

- حيثُ تنسجمُ الإشارة السّالبة معَ قانونِ لنز.

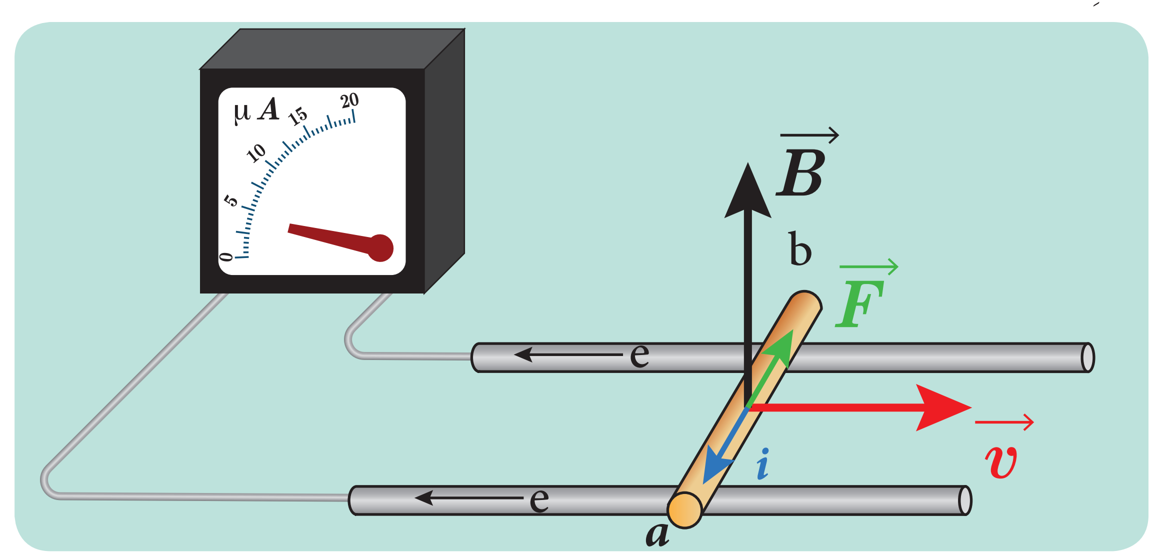
التعليـل الإلكتروني لنشـوء التيّـار المُتحـرِّض والقـوّة المُحرِّكـة الكهربائيّـة المُتحرِّضـة

تجربةُ السّكتَين التّحريضيّة

الموادّ اللازمة: مغناطيسٌ نضويّ – سكّتان معدنيّتان أفقيّتان مُتوازِيتان – ساقٌ ناقِلةٌ – مقياسُ ميكرو أمبير.

خطوات التجربة:

1. أستبدلُ بالمولِّد في تجربةِ السّكّتَين الكهرطيسيَّة مقياس الميكرو أمبير، كما في الدّارة الموضَّحة بالشَّكل المُجاوِر



2. أدحرجُ السّاق النّاقلة على السّكّتَين، وأراقبُ انحرافَ مُؤشِّر مقياس الميكرو أمبير، ماذا أُلاحِظُ؟ أفسّرُ ذلك.

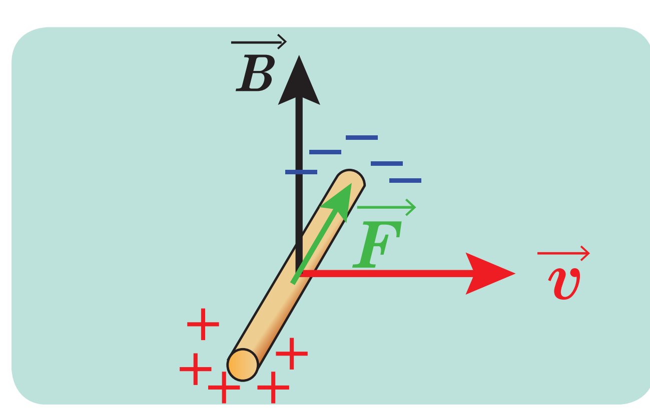
النّتائجُ:

- **ينحرفُ مؤشّرُ مقياسِ الميكرو أمبير دليلَ مرور تيّار كهربائيّ مُتحرِّض.**
- **عنـدَ تحريـكِ السّـاق بسـرعةٍ ثابتـةٍ عموديّـاً علـى خطـوطِ الحقـل المغناطيسـيّ، فـإنَّ الإلكترونـاتِ الحـرّةَ فـي السّـاق ستتحرَّكُ بهـذه السّرعة وسـطيّاً، ومـعَ خضوعِهـا لتأثيـر الحقـل المغناطيسـيّ المُنتظَـم فإنّهـا تخضـعُ لتأثيـرِ القوّة المغناطيسيّة:** $\vec{F} = e\vec{v} \wedge \vec{B}$

وبتأثيـرِ هـذه القـوّة تتحـرَّكُ الإلكترونـاتُ الحـرّة فـي السّـاق وتتولّـدُ قـوّةٌ مُحرِّكـةٌ كهربائيّـةٌ تحريضيّـةٌ تسـبّبُ مـرورَ تيّـارٍ كهربائيّ مُتحرِّض عبـرَ الـدّارة المُغلَقـة، جهتُـه الاصطلاحيّـة بعكـسِ جهـةِ حركـة الإلكترونـاتِ الحـرَّة؛ أيّ بعكـسِ جهـةِ القـوّةِ المغناطيسـيّة.

- **عندَ فتح الدّارة:**

عنـدَ تحريـكِ السّـاق بسـرعةٍ $\vec{v}$ علـى سـكّتَين معزولتَيـن فـي منطقـةٍ يسـودُها حقـلٌ مغناطيسـيٌّ تنشأُ القـوَّة المغناطيسـيَّة وبتأثيـرِ هـذهِ القـوَّةِ تنتقـلُ الإلكترونـاتُ الحـرّةُ مـن أحـد طرفـي السّـاق الـذي يكتسـبُ شـحنةً مُوجبـةً، وتتراكـمُ فـي الطَّـرفِ الآخـرِ الـذي يكتسـبُ شـحنةً سـالبةً فينشأُ بيـنَ طرفـي السّـاق فرقـاً فـي الكمونِ يمثّـلُ القـوَّةَ المُحرِّكـةَ الكهربائيّـةَ المُتحرِّضـة: $\varepsilon = U_{ab}$



تطبيقاتُ التّحريض الكهرطيسيّ:

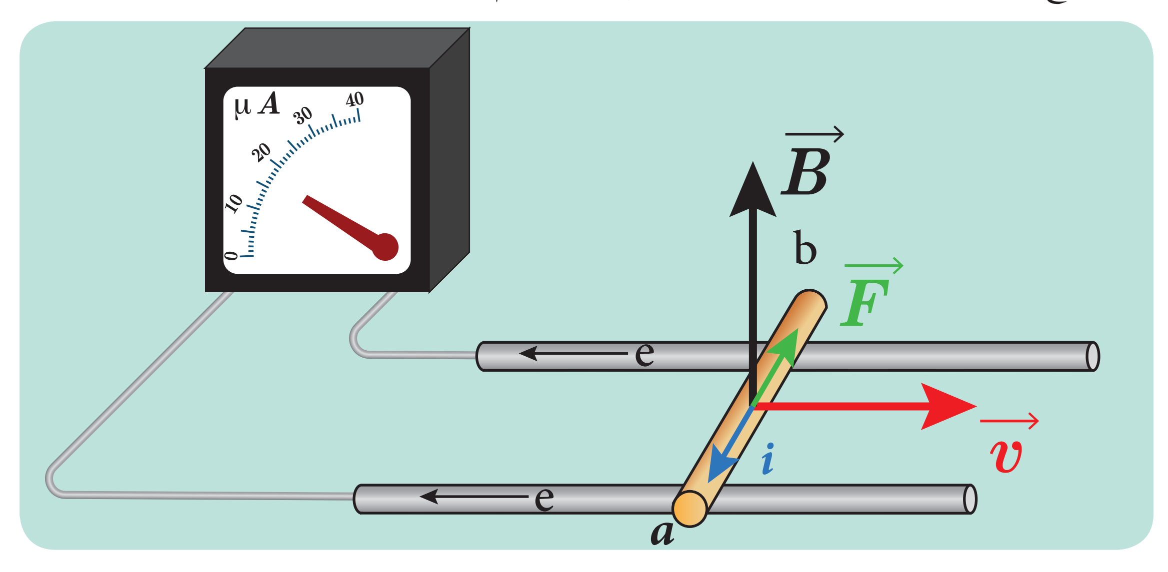
1. مبدأ المولِّد:

تجربة:

أعيدُ تجربةَ السّكّتين التَّحريضيّة حيثُ الدّارة مُغلَقة.

أحركُ السّاقَ بسرعةٍ ثابتةٍ $\vec{v}$ تقريباً عموديّة على شعاعِ الحقلِ المغناطيسيّ، وألاحِظُ انحرافَ مؤشّرِ مقياسِ الميلي فولت.

1. ما الطّاقةُ التي قُدِّمَت للسّاق؟.
2. أزدادَ السَّطحُ الذي تمسحه السّاق أثناءَ حركتِها على السّكّتين أم تناقصَ؟



لندرس نظرياً تحول الطاقة الميكانيكية إلى طاقة كهربائيّة:

عندَ تحريكِ السّاق بسرعةٍ ثابتةٍ $\vec{v}$ عموديّة على شُعاعِ الحقلِ المغناطيسيّ المُنتظَم $\vec{B}$ خلالَ فاصلٍ زمنيّ Δt ، تنتقلُ السّاقُ مسافةً:

$$\Delta x = v\Delta t$$

يتغيّرُ السَّطحُ بمقدارِ:

$$\Delta s = L\Delta x$$

$$\Delta s = Lv\Delta t$$

يتغيَّرُ التّدفُّقُ بمقدارِ:

$$\Delta\phi = B\Delta s = BLv\Delta t$$

فتتولّدُ قوّةٌ مُحرِّكةٌ كهربائيّةٌ مُتحرِّضة قيمتُها المُطلَقة:

$$\varepsilon = \left|\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}\right|$$

$$\varepsilon = \frac{BL\nu\Delta t}{\Delta t}$$

$$\varepsilon = BLv$$

وبما أنّ الدّارةَ مُغلَقةٌ يمرُّ تيّارٌ كهربائيٌّ مُتحرِّضٌ شدّتُه:

$$i = \frac{\varepsilon}{R}$$

$$i = \frac{BLv}{R}$$

فتكونُ الاستطاعةُ الكهربائيّة النّاتجة:

$$P = \varepsilon i$$

$$P = (BLv) \times (\frac{BLv}{R})$$

$$p = \frac{B^2 L^2 v^2}{R}$$

ولكن عندَ تحريكِ السّاق بسرعةِ $\vec{v}$ تنشأُ قوّةٌ كهرطيسيّةٌ، جهتُها بعكسِ جهةِ حركة السّاق المُسبِّبة لنشوء التيّار المُتحرِّض، ولاستمرارِ تولّدِ التيّار يجبُ التغلّبُ على هذه القوّة الكهرطيسيّة بصرف استطاعةٍ ميكانيكيّة P'.

$$P' = Fv$$

لدينا:

$$F = iLB \, Sin\frac{\pi}{2}$$

$$F = iLB$$

لكنَّ:

$$i = \frac{BLv}{R}$$

نعوِّضُ:

$$F = \frac{BLv}{R}(LB)$$

$$F = \frac{B^2 L^2 v}{R}$$

$$P' = Fv = \frac{B^2 L^2 v}{R} v$$

$$P' = \frac{B^2 L^2 v^2}{R}$$

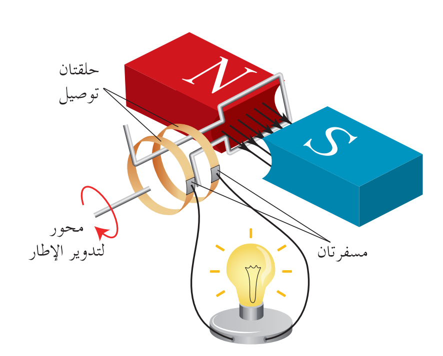
وبموازنةِ العلاقتَين نجدُ أنّ:

$$P' = P$$

وبهذا تكونُ قد تحوّلت الطّاقة الميكانيكيّة إلى طاقةٍ كهربائيّةٍ، وهو المبدأُ الذي يعتمدُ عليه الكثيرُ من المولِّداتِ الكهربائيّة.

2. مولِّدُ التيّارِ المُتناوِب الجيبيّ (AC أحادي الطّور)

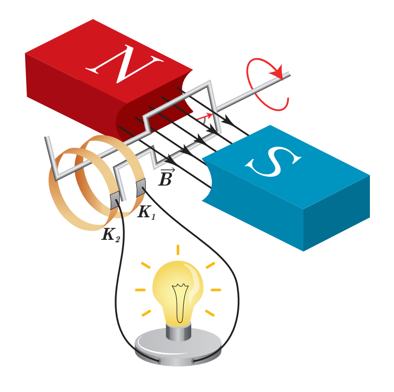
وصفُه: يتكوّنُ من إطارٍ مؤلّفٍ من N لفة مُتماثِلة، مساحةُ كلٍّ منها s، أسلاكُه ناقلةٌ ومعزولةٌ و ملفوفةٌ بالاتّجاه ذاتِه، يدورُ حولَ محورٍ في منطقةٍ يسودُها حقلٌ مغناطيسيّ مُنتظَم $\vec{B}$، ويتّصلُ طرفا المَلفّ بحلقتَين R_1, R_2، بحيثُ يمرُّ محورُ الدّورانِ بمركزِ هاتَين الحلقتَين، وتدورُ الحلقتانِ بدورانِ المَلفِّ ويمسُّ كلَّ حلقةٍ مسفرةٌ معدنيةٌ (ناقِلة) (K_1, K_2)، وتصلُ هاتانِ المسفرتانِ المَلفَّ بالدّارةِ الخارجيّة كما في الشّكلِ المُجاورِ.



نشاط (1):

عندَما يدورُ المَلفّ:

- ماذا يحدثُ للزّاوية بينَ النّاظِم على مُستوي المَلفِّ وشُعاعِ الحقلِ المغناطيسيّ $\vec{B}$.
- هل يتغيّرُ التّدفّق المغناطيسيّ عندئذٍ؟
- إذا كانَت السّرعةُ الزّاويةُ التي يدورُ بها الإطارُ ثابتةً، اكتبِ العلاقةَ التي تربطُ بينَ α والزّمن.



لنستنتجَ العلاقة المُحدِّدة للقوّةِ المُحرِّكة الكهربائيّة المُتحرِّضة:

- بفرض أنّه في لحظةٍ ما أثناءَ الدّوران كانّ النّاظم على مُستوي الإطارِ يصنعُ معَ شعاعِ الحقلِ المغناطيسيّ $\vec{B}$ زاويةً قدرُها α، فيكونُ التّدفّقُ المغناطيسيّ Φ الذي يجتازُ سطحَ الإطار:

$$\overline{\Phi} = NBs\cos\alpha$$

- إذا كانّت السّرعةُ الزّاويةُ لدورانِ الإطارِ ω ثابتةً، فإنَّ الزّاويةَ α التي يدورُها المَلفُّ في زمنٍ قدرُه t:

$$\alpha = \omega t$$

نعوّضُ فنجدُ:

$$\overline{\Phi} = NBs\cos\omega t$$

وتكونُ القوّةُ المُحرّكةُ الكهربائيّةُ المُتحرّضة ε:

$$\overline{\varepsilon} = -\frac{d\overline{\Phi}}{dt}$$

$$\overline{\varepsilon} = NsB\omega\sin\omega t$$

تكونُ ε عُظمَى عندما:

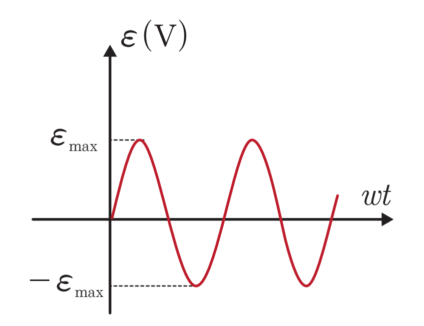
$$\sin\omega t = 1$$

نعوّضُ:

$$\varepsilon_{max} = NsB\omega$$

$$\overline{\varepsilon} = \varepsilon_{max}\sin\omega t$$

وبذلك نحصلُ على التيّارِ المُتناوِب الجيبي نظراً لأنَّ القوّةَ المُحرّكةَ الكهربائيّةَ المُتحرِّضة ε مُتناوبةٌ جيبيّةٌ.
عندَ رسم تغيُّراتِ ε بدلالةِ ωt نحصلُ على المُنحني البيانيّ الآتي:



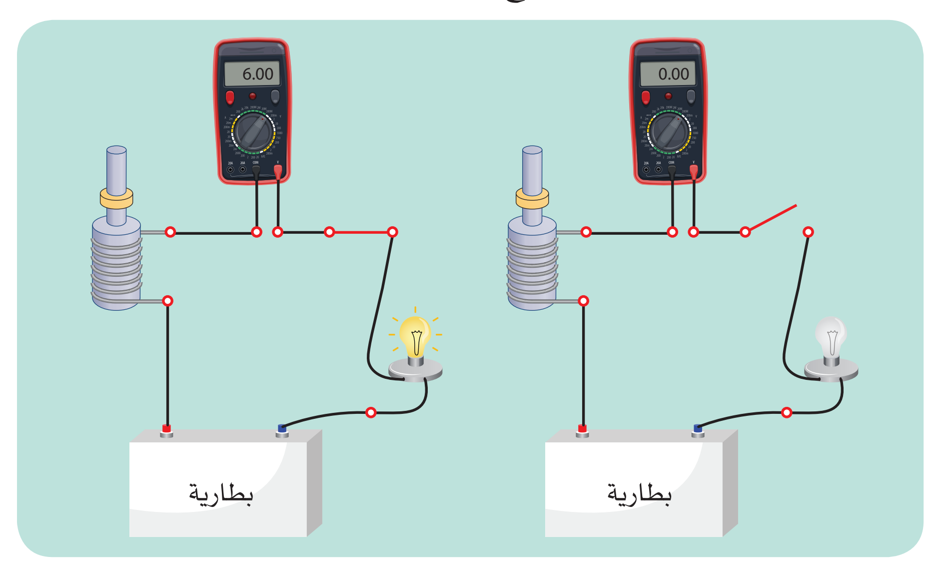
3. مبدأ المُحرّك

تجربة:

المواد اللازمة: مولِّدٌ– مصباحٌ كهربائيٌّ– مقياسُ أمبير– مُحرِّكٌ كهربائيٌّ صغيرٌ– أسلاكُ توصيلٍ– قاطعة.

خطواتُ التَّجربةِ:

1. أصلُ الدّارةَ المُوضّحة بالشَّكل على التَّسلسُل.
2. أغلقُ الدّارةَ وأمنعُ المُحرّك من الدَّوران بمسكِ محورِه باليد، ماذا أُلاحِظُ؟
3. أسمحُ للمحرّكِ بالدَّورانِ، ماذا أُلاحِظُ؟ وماذا أستنتجُ؟



النّتائجُ:

- **عندَ إغلاقِ القاطعةِ ومنعِ المُحرِّك من الدّوران يتوهَّجُ المصباحُ ويدلُّ المقياسُ على مرورِ تيّارٍ كهربائيٍّ له شدّةٌ معيّنة.**
- **عندَ السَّماحِ للمُحرِّك بالدَّوران تبدأُ سرعتُه بالازديادِ فيقلُّ توهُّجُ المصباحِ وتنقصُ دلالةُ المقياسِ ممَّا يدلُّ على مرورِ تيّارٍ كهربائيٍّ شدّتُه أصغرُ.**
- **تتولّدُ في المُحرِّك قوّةٌ مُحرِّكةٌ كهربائيّةٌ تحريضيّةٌ عكسيّةٌ مُضادّةٌ للقوّة المُحرِّكة الكهربائيّة المُطبقة بينَ قطبَي المولِّد، وتتزايدُ بازديادِ سرعةِ دوران المُحرِّك.**
- **يوجدُ في المُحرِّك وشيعةٌ، يمرُّ فيها تيّارٌ كهربائيٌّ، تدورُ بتأثيرِ حقلٍ مغناطيسيٍّ، وبسببِ هذا الدَّورانِ يتغيَّرُ التّدفُّقُ المغناطيسيُّ من خلالِ الوشيعةِ ممَّا يسبِّبُ تولُّدَ قوّةٍ مُحرِّكةٍ تحريضيَّةٍ عكسيّةٍ تتوقّفُ على سرعةِ دورانِ المُحرِّك.**

لندرسَ نظريّاً تحوُّلَ الطّاقةِ الكهربائيَّةِ إلى طاقةٍ ميكانيكيَّة في المُحرِّك.

عندَ مرورِ التيّارِ الكهربائيِّ في السّاقِ الخاضِعة لتأثيرِ الحقلِ المغناطيسيِّ المُنتظَم $\vec{B}$ ، فإنَّها تتأثَّرُ بقوَّةٍ كهرطيسيّةٍ شدتُّها:

$$F = ILB$$

تعملُ القوَّةُ الكهرطيسيّة على تحريكِ السَّاق بسرعةٍ ثابتةٍ $\vec{v}$ ، وتكونُ الاستطاعةُ الميكانيكيّةُ الناتِجةُ:

$$P' = Fv$$

$$P' = ILBv$$

لكنْ عندَ انتقال السَّاق مسافةَ Δx ، فإنّ التّدفُّقَ المغناطيسيّ يتغيّرُ بمقدار:

$$\Delta\Phi = BLv\Delta t$$

فتتولَّدُ في الساق قوَّةٌ مُحرِّكةٌ كهربائيّةٌ مُتحرّضة عكسيّة تعاكِسُ مرورَ تيّار المولّد فيها بحسبِ قانونِ لنز تُعطَى قيمتُها المُطلَقة بالعلاقةِ:

$$\varepsilon' = \left|\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}\right| = BLv$$

ولاستمرارِ مرورِ تيّارِ المولّد يجبُ تقديمُ استطاعةٍ كهربائيَّةٍ:

$$P = \varepsilon' I$$

$$P = BLvI$$

بالموازنةِ نجدُ:

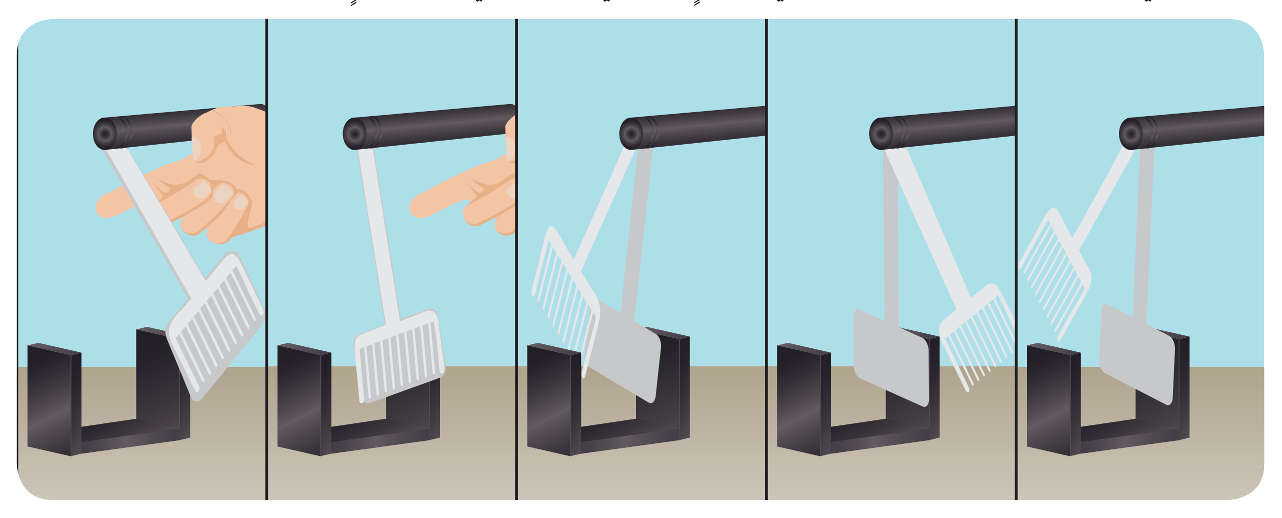
$$P' = P$$

وبهذا الشَّكلِ تتحوّلُ الطَّاقةُ الكهربائيّةُ إلى طاقةٍ ميكانيكيَّة.

4. تيَّارُ فوكو

نشاط:

صفيحتانِ معدنيّتان من النُّحاس إحداهُما مُقطَّعةٌ بشكلِ شرائحَ معزولةٍ عن بعضِها البعض مثلَ أسنانِ المشطِ والأخرى كاملةٌ غيرُ مُقطَّعة، تُثبَّتُ كلٌّ من الصَّفيحتَين بطرفِ ساقٍ خفيفةٍ من النُّحاس، ثمَّ تُثبَّتُ كلٌّ من السَّاقَين في الأعلى لتتوازنَ الصَّفيحتانِ في مُستوٍ شاقوليٍّ بينَ قطبَي مغناطيسٍ نضويّ.



خطواتُ التَّجربةِ:

1. أزيحُ الصَّفيحتَين بسعةِ الزاوية ذاتِها إلى أحدِ جانبَي موضعِ استقرارِهما الشّاقولي.
2. أتركُ الصَّفيحتَين في أنّ واحد لتهتز كل منهما بحرية بينَ قطبَي المغناطيسِ النّضويّ. ماذا ألاحِظُ؟ أتهتزُّ الصَّفيحتان بالسّعةِ نفسِها، أم تختلفانِ بسعةِ اهتزازِهما؟ كيفَ أفسّرُ ذلك؟

ألاحظ:

تتوقّفُ الصَّفيحةُ الكاملةُ فجأةً عن الاهتزازِ في أثناءِ مرورِها بينَ قطبَي المغناطيس النّضويّ، بينَما تستمرُّ الصَّفيحةُ المُقطَّعة باهتزازِها ذهاباً وإياباً إلى جانبَي موضعِ توازنِها الشاقولي بينَ قطبَي المغناطيسِ النّضويّ ولكن بتباطؤ.

أفسِّرُ

عندَ اقترابِ الصَّفيحة الكاملة من منطقةِ الحقلِ المغناطيسيّ بينَ قطبَي المغناطيسِ النّضويّ يحدثُ تزايُداً في التّدفُّق المغناطيسيّ الذي يخترقُها، وفي أثناء خروجِها يحدثُ تناقُصٌ في التّدفُّقِ المغناطيسيّ الذي يجتازُها، فتتولّد في الحالتَين تيّاراتٌ تحريضيَّةٌ تنتجُ أفعالاً تعاكِسُ السَّببَ الذي أدّى إلى حدوثِها (اهتزاز الصَّفيحة)، وتكونُ جهتُها بحيثُ تعاكِسُ جهةَ حركةِ الصَّفيحة، فتتوقّفُ وتنتشرُ فيها كمّيّةٌ من الحرارة بفعلِ جولٍ كأثرٍ حراريّ لتلكَ التّيّارات.

- أمّا التّيّاراتُ التَّحريضيّةُ المُتولّدة في الصَّفيحة المُقطَّعة تكونُ صغيرةً جدّاً، فيكونُ تأثيرُها في اهتزازِ الصَّفيحة ضعيفاً جدّاً.
- نسمّي تلكَ التيّارات التَّحريضيّة المُتولّدة في الكتلِ المعدنيّةِ الّتي تخضعُ لِتدفُّقٍ مغناطيسيٍّ مُتغيِّرٍ بتيّاراتِ فوكو.
- لتيّاراتِ فوكو أثرٌ ضارٌّ في الأجهزةِ الكهربائيّةِ، لذلكَ نستبدلُ الكتلَ المعدنيّة المُصمّتة المُعرَّضة لمثلِ هذه التيّاراتِ بكتلٍ معدنيّةٍ معزولةٍ بعضِها عن بعضٍ، تنقطعُ فيها تلكَ التيّاراتُ ممّا يخفّفُ من أثرِها، وهذا ما يحصلُ في قوى المُحرِّكاتِ والمولِّداتِ والمُحوّلاتِ الكهربائيّةِ، حيثُ تكونُ صفائحُ هذه القوى معزولةً وتوضَعُ لِتُوازي سطوحَها خطوطُ الحقلِ المغناطيسيّ.
- تُستثمَرُ تيّاراتُ فوكو في مكابحِ القطاراتِ الحديثةِ إمّا لإيقافِها أو لإبطاءِ حركتِها وتسمّى بالكوابحِ الكهرطيسيّة، كما تُستثمَرُ في أجهزةِ الكشفِ عن المعادنِ المُستعمَلة في نقاطِ التفتيشِ الأمنيةِ ولاسيّما في المَطارات، وكذلكَ الطبّاخ الإلكترونيّ المُستخدَم في المنازِل.

التّحريضُ الذّاتيّ:

أجرّب وأستنتج:

المواد اللازمة: وشيعةٌ – مصباحٌ – أسلاكٌ كهربائيّةٌ – مُقاومةٌ مُتغيّرةٌ معَ زالِقهِ (مُعدَّلةٍ) – قاطِعةٌ – أسلاكٌ توصيلٌ.

S
قاطعة
+ −
مقاومة متغيرة

خطوات التجربة:

1. أركّبُ الدارة الموضّحة بالشّكل المُجاور.
2. أُغلِقُ القاطعة، وأحرّكُ الزّالِقة حتّى تصبحَ إضاءةُ المِصباح خافتةً.
3. أفتحُ القاطِعةَ، ماذا أُلاحِظُ؟
4. أغلقُ القاطِعةَ من جديدٍ؟ ماذا أُلاحِظُ؟

النّتائجُ:

- عندَ فتحِ القاطعةِ يتوهجُ المصباحُ بشدةٍ قبلَ أن ينطفئَ، ممّا يدلُّ على حصولِ المصباحِ على الطّاقة من مصدرٍ آخرَ غيرِ المولّدِ؛ لأنَّ دارتَه مفتوحةٌ ولا يوجدُ في الدّارة إلا الوشيعة، ويحدثُ هذا نتيجةَ التّحريضِ الذّاتي في الوشيعة، حيثُ أنَّ فتحَ القاطِعة يؤدّي إلى تناقُصِ شدَّةِ التيّارِ المارّ في الوشيعة، فيتناقصُ تدفُّقُ الحقلِ المغناطيسيّ المُتولّد في الوشيعة خلالَ الوشيعةِ ذاتِها، الأمرُ الذي يولِّدُ قوّةً كهربائيّةً مُحرّكةً مُتحرّضةً في الوشيعةِ أكبرَ من القوّةِ المُحرّكةِ الكهربائيّةِ للمولّد، لأنّ زمنَ تناقُصِ الشِّدَّة مُتناهي الصِّغر، حيثُ تكونُ قيمة $\frac{di}{dt}$ أعلى ما يمكنُ لحظةَ فتحِ القاطعة.
- عندَ إغلاقِ القاطِعة من جديدٍ يتوهجُ المصباحُ ثمَّ يعودُ إلى ضوئه الخافت، حيثُ تتزايدُ شدّةُ التيّار وبالتّالي يتزايدُ تدفُّقُ الحقلِ المغناطيسيّ المُتولّد عن الوشيعةِ عبرَ الوشيعةِ ذاتِها، فيتولّدُ فيها قوّةٌ مُحرّكةٌ كهربائيّةٌ مُتحرّضةٌ تمنعُ مرورَ التيّار فيها، ويمرُّ التيّارُ في المصباح فقط مُسبّباً توهُّجه قبلَ أن تخبوَ إضاءتُه بسببِ تناقُصِ قيمةِ $\frac{di}{dt}$، وازديادِ مرورِ التيّارِ تدريجيّاً في الوشيعة حتّى ثباتِ الشِّدَّةِ فتنعدمُ القوّةُ المُحرّكةُ الكهربائيّةُ المُتحرّضةُ في الوشيعة.
- إنّ الوشيعةَ قامَت بدورِ مُحرِّضٍ ومُتحرِّضٍ في آنٍّ واحدٍ، لذلك ندعو الدّارة بالدّارة المُتحرّضة الذّاتية وندعو الحادثة تحريضاً ذاتياً.

ذاتيّةُ الوشيعة:

تُعطَى شدَّةُ الحقلِ المغناطيسيِّ المتولِّدِ عن مرورِ تيّارٍ في الوشيعةِ بالعلاقةِ:

$$B = 4\pi \times 10^{-7} \frac{Ni}{\ell}$$

ويكونُ تدفُّقُ هذا الحقلُ من خلالِ الوشيعةِ ذاتِها:

$$\overline{\Phi} = NsB$$

$$\overline{\Phi} = Ns(4\pi \times 10^{-7} \frac{Ni}{\ell})$$

$$\overline{\Phi} = 4\pi \times 10^{-7} \frac{N^2 s}{\ell} i$$

نلاحظُ أنّ أمثالَ شدَّةِ التيّارِ مقدارٌ ثابتٌ يميّزُ الوشيعة، يدعَى ذاتيَّةَ الوشيعة L ، واحدةُ قياسها في الجملة الدّوليّة هي الهنري H ، وهو ذاتيّةُ دارةٍ مُغلَقةٍ يجتازُها تدفُّقٌ مغناطيسيٌّ قدرُه ويبر واحد عندما يمرُّ فيها تيّارٌ قدرُه أمبير واحد.

$$L = 4\pi \times 10^{-7} \frac{N^2 s}{\ell}$$

نعوّضُ فنجدُ:

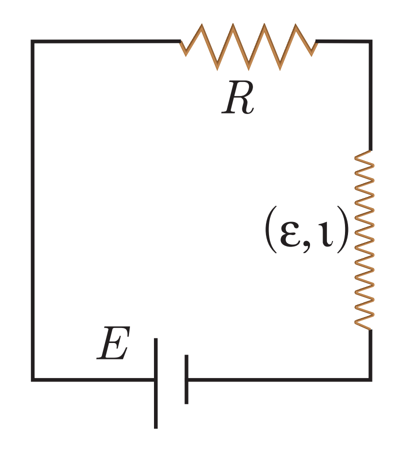
$$\overline{\Phi} = L\overline{i}$$

فتصبحُ علاقةُ القوَّةِ المُحرّكة الكهربائيّة المُتحرِّضة الذّاتيّة بدلالةِ شدَّةِ التيّار المُتغيِّر الّذي يجتازُها:

$$\overline{\varepsilon} = -\frac{d\overline{\Phi}}{dt}$$

$$\overline{\varepsilon} = -L\frac{d\overline{i}}{dt}$$

الطّاقةُ الكهرطيسيّةُ المُختزَنة في وشيعةٍ



في التَّجربةِ السّابقةِ نلاحظُ أنَّ المصباحَ أضاءَ على الرَّغم من فصلِ المولِّدِ، وهذا يدلُّ كما ذكرنا على أنَّ الوشيعةَ قدَّمَت طاقةً إلى المصباح، أي أنَّ الوشيعةَ تختزنُ طاقةً عندَ إغلاقِ القاطِعة، وعندَ فصلِ المولِّدِ (فتحَ القاطِعة)، فإنَّها تعيدُ الطّاقةَ المُختزَنة إلى المصباح.

لِنَستنتجَ عبارةَ الطّاقةِ الكهرطيسيّةِ E_L المُختزَنة في وشيعة.

نربطُ وشيعةً ذاتيتُها L ، على التَّسلسُل معَ مُقاوَمةٍ أومية R ، ومولِّدٍ قوتُه المُحرّكة الكهربائيّة E كما في الدّارة الموضَّحة بالشَّكل:

بحسبِ قانونِ كيرشوف الثّاني:

$$\sum \overline{E} = R\overline{i}$$

$$\overline{E} + \overline{\varepsilon} = R\overline{i}$$

$$\overline{E} - L\frac{d\overline{i}}{dt} = R\overline{i}$$

$$\overline{E} = R\overline{i} + L\frac{d\overline{i}}{dt}$$

نضربُ طرفَي العلاقة بـ idt ، فنجدُ:

$$Eidt = Ri^2dt + Lidi$$

إنَّ المقدارَ $Eidt$ يمثِّلُ الطّاقة الّتي يقدِّمُها المولِّد خلالَ الزَّمنِ dt ، وهذه الطّاقة تنقسمُ إلى قسمَين:

القسمُ الأوّل: Ri^2dt يمثّلُ الطّاقة الضّائعة حراريّاً بفعلِ جولٍ في المُقاوَمة خلالَ الزّمن dt .

القسمُ الثّاني: $Lid\bar{i}$: يمثِّلُ الطّاقةَ الكهرطيسيّةَ المُختزَنة في الوشيعةِ خلالَ الزّمن dt .

وتختزنُ الوشيعةُ طاقةً كهرطيسيّة E_L في لحظةٍ t عندَما تزدادُ شدَّةُ التيّار المارّة في الدّارة من الصّفر إلى قيمتِها النّهائيّة: I

$$E_L = \int_0^I Lid\bar{i}$$

$$E_L = \frac{1}{2}LI^2$$

وهي العلاقةُ المُحدَّدة للطّاقة الكهرطيسيّة المُختزَنة في الوشيعة، ويمكنُ أن تُكتبَ بالشَّكل:

$$\Phi = LI$$

$$L = \frac{\Phi}{I}$$

$$E_L = \frac{1}{2}\Phi I$$

تطبيق:

وشيعةٌ طولُها $20\,cm$ ، وطولُ سلكِها $40\,m$ ، بطبقةٍ واحدةٍ، مقاومتُها الأومية مُهمَلةٌ. المطلوب:

1. احسبْ ذاتيةَ الوشيعة.
2. إذا كانَ نصفُ قطرِ اللَّفة الواحدة $4\,cm$ فاحسبْ عددَ لفّاتِ الوشيعة.
3. نمرِّرُ في الوشيعة تيّاراً كهربائيّاً تزدادُ شدّتُه بانتظامٍ من الصّفر إلى $10\,A$ خلال $0.5\,s$، احسب القوَّةَ المُحرِّكةَ الكهربائيّة المُتولِّدة داخلَ الوشيعة مُحدِّداً جهةَ التيّار المُتحرِّض.
4. احسب الطّاقةَ الكهرطيسيّة المُختزَنة في الوشيعة.

الحل:

$$\ell' = 40\,\text{m} \qquad \ell = 20 \times 10^{-2} = 0.2\,\text{m}$$

1. حسابُ ذاتيةِ الوشيعة:

$$L = 4\pi \times 10^{-7}\,\frac{N^2 s}{\ell}$$

لكن: عددُ اللّفات يُعطَى بالعلاقة: $N = \frac{\ell'}{2\pi r}$

وسطحُ الوشيعة يعطى بالعلاقة:

$s = \pi r^2$

نعوّضُ:

$$L = 10^{-7}\frac{\ell'^2}{\ell} = 10^{-7}\times\frac{1600}{0,2}$$
$$L = 8\times10^{-4}H$$

.2 حسابُ عددِ لفاتِ الوشيعة:

$$N = \frac{\ell'}{2\pi r} = \frac{40}{2\pi\times4\times10^{-2}} = \frac{4000}{25} = 160 \text{ لفة}$$

.3 حسابُ القوّة المُحرّكة الكهربائيّة المُتحرِّضة المُتولِّدة داخلَ الوشيعة:

$$\overline{\varepsilon} = -\frac{\Delta\overline{\Phi}}{\Delta t}$$
$$\Delta\overline{\Phi} = N(\Delta\overline{B})S\cos\alpha$$
$$\alpha = 0$$
$$\Delta\overline{B} = B_2 - B_1 = 4\pi\times10^{-7}\frac{NI}{\ell} - 0$$
$$\Delta\overline{B} = 4\pi\times10^{-7}\frac{160\times10}{0,2} = 32\pi\times10^{-5} = 10^{-3}\text{T}$$
$$s = \pi r^2 = 4\pi\times10^{-4}\text{m}^2$$
$$\Delta\Phi = 160\times10^{-3}\times4\pi\times10^{-4}\times1$$
$$\Delta\Phi = 2\times10^{-4}\text{weber}$$
$$\varepsilon = -\frac{2\times10^{-4}}{0,5} = -4\times10^{-4}\text{V} < 0$$

$\vec{B}$ مُحرِّض، $\vec{B}'$ مُتحرِّض على حاملٍ واحدٍ وبجهتَين مُتعاكِستَين.

.4

$$E_L = \frac{1}{2}LI^2$$
$$E_L = \frac{1}{2}\times8\times10^{-4}\times100$$
$$E_L = 4\times10^{-2}\text{J}$$

إثراء:

بعضُ التّطبيقاتِ العمليّة لظاهرةِ التّحريض الكهرطيسيّ

- **بطاقةُ الائتمان:**



عندَ تحريكِ بطاقةِ الائتمان (بطاقة خزن المعلومات) المُمغنَطة أمامَ مَلفٍّ يتولّدُ تيّارٌ كهربائيٌّ مُتحرِّضٌ، شدّتُه صغيرةٌ جدّاً، ثمَّ يتضخّمُ ويتحوّلُ إلى نبضاتٍ تحتوي المعلومات.

- **الطبّاخُ الإلكترونيّ:**



تُستثمَرُ حادثةُ التّحريضِ الكهرطيسيّ في عملِ الطّباخات الإلكترونيّة إذ يوضَع تحتَ السّطحِ العلويّ للطّباخِ مَلفٌّ يمرُّ فيه تيّارٌ مُتناوبٌ جيبيٌّ فيولِّدُ هذا التّيّارُ حقلاً مغناطيسيّاً مُتناوباً ينتشرُ نحوَ الخارجِ وبمرورِ التيّارِ المُتناوبِ خلالَ قاعدةِ الإناءِ المصنوعِ من المعدنِ تتولّدُ تيّاراتُ فوكو في قاعدةِ الإناءِ المعدنيّ فتَسخنُ قاعدتُه، ويغلي الماءُ داخلَ الإناءِ، ومن المُلاحَظ أنّه إذا لمسنا السّطحَ العلويَّ للطبّاخِ لا نشعرُ بسخونةِ السّطحِ.

تعلّمتُ

- **قانونُ فاراداي:** يتولّدُ تيّارٌ مُتحرِّضٌ في دارةٍ مُغلَقةٍ إذا تغيّرَ التّدفُّقُ المغناطيسيّ الّذي يجتازُها ويدومُ هذا التيّارُ بدوامِ تغيُّرِ التّدفُّقِ لينعدمَ عندَ ثباتِ التّدفُّقِ المغناطيسيّ المُحرِّض.
- **قانونُ لنز:** إنَّ جهةَ التيّارِ المُتحرِّضِ في دارةٍ مُغلَّقة تكونُ بحيثُ يُنتِجُ أفعالاً تعاكِسُ السّببَ الّذي أدّى إلى حدوثه.
- تتناسبُ القوّةُ المُحرِّكةُ الكهربائيّةُ المُتحرِّضة $\bar{\varepsilon}$:

a. طرداً معَ تغيُّرِ التّدفّقِ المغناطيسيّ المُحرِّض $d\bar{\Phi}$.

b. عكساً معَ زمنِ تغيُّرِ التّدفّقِ المغناطيسيّ المُحرِّض dt.

- نعبّرُ رياضيّاً عن قانونِ فاراداي بالعلاقة الآتية: $\bar{\varepsilon} = -\frac{d\bar{\Phi}}{dt}$ حيثُ تعبّر إشارة $(-)$ عن قانون لنز.
- في تجربةِ السّكّتَين التّحريضيّة يتولّدُ التّيارُ الكهربائيُّ المُتحرِّضُ نتيجةَ حركةِ الإلكتروناتِ الحرّةِ بتأثيرِ القوّةِ المغناطيسيّةِ عبرَ الدّارةِ المُغلقةِ ممّا يسبّبُ مرورَ تيّارٍ كهربائيٍّ مُتحرِّض، جهتُه الاصطلاحيّة بعكسِ جهةِ حركةِ الإلكتروناتِ الحرّة؛ أيّ بعكسِ جهةِ القوّةِ المغناطيسيّة، وهذا ما يتّفقُ معَ قانونِ لنز.

إذا كانتِ الدّارةُ مفتوحةً: تنتقلُ الإلكتروناتُ الحرّة بتأثيرِ القوّةِ المغناطيسيّة من أحدِ طرفَي السّاق الّذي يكتسبُ شحنةً مُوجبةً وتتراكمُ في الطّرفِ الآخرِ الّذي يكتسبُ شحنةً سالبةً فينشأُ بينَ طرفَي السّاق فرقاً في الكمونِ يمثّلُ القوّةَ المُحرِّكةَ الكهربائيّةَ المُتحرِّضة $\varepsilon = U_{ab}$

- **مبـدأُ المولِـد:** يحـوّلُ الطَّاقـةَ الميكانيكيّـةَ إلـى طاقـةٍ كهربائيّـةٍ، وتكـونُ الاسـتطاعةُ الميكانيكيّـةُ مُسـاويةً للاسـتطاعةِ الكهربائيّـة.
- **مبدأُ المُحرِّك:** يحوِّلُ الطّاقةَ الكهربائيّةَ إلى الطّاقة الميكانيكيَّة.
- **مولِدُ التيّارِ المُتناوِب الجيبيّ:** يعتمدُ على دوران دارةٍ كهربائيّةٍ مُغلَقة ضمنَ حقلٍ مغناطيسيّ.
- نُسـمّي تلـكَ التيّـاراتِ التّحريضيَّـة المُتولِّـدة فـي الكتـلِ المعدنيّـة التـي تخضـعُ لِتدفُّـقٍ مغناطيسـيّ مُتغيّـر بتيّـارات فوكـو.
- تُعطَى القوّةُ المُحرِّكةُ الكهربائيّةُ المُتحرِّضةُ الذّاتية بالعلاقة: $\bar{\varepsilon} = -L\frac{d\bar{i}}{dt}$
  حيثُ L : ذاتيةُ الوشيعةِ وحدةُ قياسُها (هنري) وتُعطَى بالعلاقة: $L = 4\pi \times 10^{-7}\frac{N^2 s}{\ell}$
- الطّاقةُ الكهرطيسيّة المُختزَنة في الوشيعة: $E_L = \frac{1}{2}LI^2 = \frac{1}{2}\Phi I$




أختبر نفسي

أولاً: اخترِ الإجابةَ الصَّحيحة في كلٍّ ممّا يأتي:

1. وشيعةٌ طولُها $\ell = 10\text{cm}$، وطولُ سلكِها $\ell' = 10\text{m}$، فقيمةُ ذاتيّتِها:

   a. $10^{-4}H$ b. $10^{-5}H$ c. $10^{-3}H$ d. $10^{-7}H$

2. في تجربةِ السّكتَين التَّحريضيّة حيثُ الدّارة مُغلَقة تكونُ القيمةُ المُطلَقة لشدَّةِ التيّار المُتحرِّض:

   a. BLv b. $\frac{BLv}{R}$ c. 0 d. $-\frac{BLv}{R}$

ثانياً: أعطِ تفسيراً علميّاً لكلٍّ ممَّا يأتي:

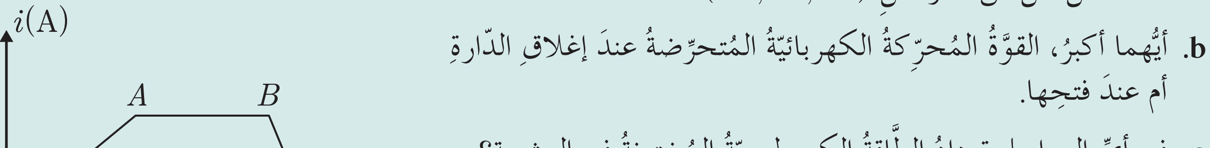
1. لا يغلي الماءُ في إناءٍ زجاجيٍّ يوضَع على سطحِ طبّاخٍ إلكترونيّ. اقترِحْ طريقةً لجعلِ الماءِ يغلي في الإناء الزّجاجيّ.
2. في تجربةِ السّكتَين التَّحريضيّة تكونُ جهةُ القوَّةِ الكهرطيسيّة مُعاكِسة لجهةِ حركةِ السَّاق.

ثالثاً: ماذا تتوقَّعُ أن يحدُثَ في كلٍّ من الحالاتِ الآتيةِ مُعلّلاً إجابتَك:

1. في تجربةِ السِّكّتَين التَّحريضيّة حيثُ الدَّارةُ مُغلَقةٌ، نزيدُ سرعةَ تدحرُجِ السَّاقِ على السّكّتَين.
2. تقريبُ القطبِ الشّمالي لمغناطيس من أحدِ وجهَي وشيعةٍ يتَّصلُ طرفاها ببعضِهما البعض.
3. تقريبُ القطبِ الشّمالي لمغناطيس من أحدِ وجهَي حلقةٍ نحاسيّةٍ دارتُها مفتوحةٌ.

رابعاً: أجِبْ عن الأسئلةِ الآتيةِ:

1. مَلفّانِ مُتقابِلانِ الأوّلُ موصولٌ إلى بيلٍ كهربائيٍّ والثاني إلى مصباحٍ، هل يضيءُ المصباحُ إذا كانَ المَلفّانِ ساكنَين؟ في حالِ النّفي ماذا نفعلُ ليضيءَ المِصباحُ؟ ولماذا؟
2. في تجربةِ السّاقِ المُتحرّكةِ بوجودِ الحقلِ المغناطيسيّ المُنتظَمِ في دارةٍ مفتوحةٍ، تتراكمُ الشّحناتُ المُوجبةُ في طرفٍ والشّحناتُ السّالبةُ في طرفٍ آخرَ، ويستمرُّ التّراكمُ إلى أنْ يصلَ إلى قيمةٍ حدّيّةٍ يتوقّفُ عندَها. فسِّرْ ذلكَ.
3. يبيّنُ الخطُّ البيانيُّ المرسومُ جانباً تغيُّراتِ تيّارِ المُولِّدِ المارِّ في الوشيعةِ في حادثةِ التّحريضِ الذّاتي.



a. ماذا تُمثّلُ كلٌّ من المراحلِ (BC, AB, OA).

b. أيُّهما أكبرُ، القوّةُ المُحرّكةُ الكهربائيّةُ المُتحرّضةُ عندَ إغلاقِ الدّارةِ أم عندَ فتحِها.

c. في أيِّ المراحلِ تزدادُ الطّاقةُ الكهرطيسيّةُ المُختزنةُ في الوشيعةِ؟ وفي أيّ المراحلِ تكونُ ثابتةً؟ وفي أيِّ المراحلِ تتناقصُ الطّاقةُ الكهرطيسيّةُ المُختَزَنة في الوشيعة.

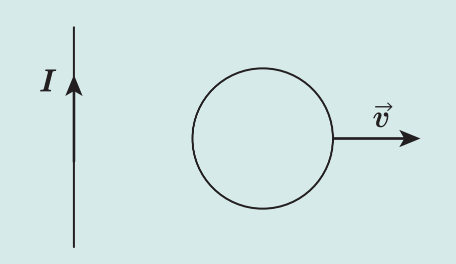
4. وشيعةٌ يمرُّ فيها تيّارٌ كهربائيٌّ مُتغيّرٌ شدتُه i:

a. اكتبْ عبارةَ شدَّةِ الحقلِ المغناطيسيّ المُتولّد داخلَها نتيجة مرورِ التيّار.

b. اكتبْ عبارةَ التّدفّق المغناطيسيّ للحقلِ المغناطيسيّ.

c. استنتجْ العلاقةَ المُحدَّدة للقيمةِ الجبريّة للقوّةِ المُحرّكة الكهربائيّة المُتحرِّضة الآنيّة الذّاتيّة المُتحرّضة فيها موضحاً متى تنعدمُ قيمةُ هذه القوّة.

5. في الشّكلِ المُجاورِ مَلفٌّ دائريٌّ نحرّكُه بسرعةٍ ثابته $\vec{v}$ عموديّة على السِّلكِ المُستقيم، المطلوب:



a. حدِّدْ على الرَّسمِ جهةَ الحقلِ المغناطيسيّ المُتولِّد عن مرورِ التيّار الكهربائيّ في السِّلكِ المُستقيم عندِ مركزِ المَلفّ الدائري.

b. حدِّدْ على الرسمِ جهةَ الحقلِ المغناطيسيّ المُتحرِّض المُتولِّد في المَلفّ، وجهةَ التيّارِ الكهربائيّ المُتحرِّض.

c. صِفْ ما يحدثُ إذا أوقفنا المَلفَّ عن الحركةِ، مُعلِّلاً إجابتَك؟

خامساً: حُلَّ المسائلَ الآتية:

المسألة الأولى:

مَلفٌّ دائريٌّ، يتألّفُ من 100 لفّةٍ مُتماثِلة، نصفُ قطره الوسطيّ $4\,cm$، نصلُ طرفَيه بمقياسِ ميلي أمبير موصولاً على التّسلسلِ معَ مقاومةٍ أوميةٍ قيمتُها 20Ω، نقرِّبُ من أحدِ وجهَي المَلفِّ القطبَ الشّمالي لمغناطيسٍ مُستقيم، فتزدادُ شدَّةُ الحقلِ المغناطيسيّ الذي يخترقُ لفّاتِ المَلفِّ الدّائريّ بانتظامٍ من الصّفرِ إلى $0.08T$ خلالَ $2s$.

المطلوب:

1. احسبْ قيمةَ القوّةِ المُحرّكة الكهربائيّة المُتحرِّضة المُتولِّدة في المَلفّ الدّائريّ مُحدِّداً جهةَ التيّار الكهربائيّ المُتحرِّض.
2. ما نوع الوجه المُقابِل للقطبِ الشّمالي؟
3. احسبْ شدَّةَ التيّارِ المارَّة في المَلفّ.
4. احسبِ الاستطاعةَ الكهربائيّةَ المُتولِّدة عن المَلفّ الدّائريّ، ثمَّ الاستطاعةَ الحراريّةَ المصروفةَ في المُقاوَمةِ الأومية، ماذا تستنتجُ.

المسألة الثّانية:

1. لدينا وشيعةٌ، طولُها 30cm، قطرُها 4cm، تحوي 1200 لفة، نمرِّرُ فيها تيّاراً شدّتُه $4A$. احسبْ شدَّةَ الحقلِ المغناطيسيّ في مركزِ الوشيعة.
2. نلفُّ حولَ القسمِ المتوسطِ من الوشيعةِ مَلفّاً يحوي 100 لفةٍ معزولةٍ، ونصلُ طرفَيه بمقياسِ غلفانيّ، بحيثُ تكونُ المُقاوَمة الكلّيّة للدّارة الجديدة 16Ω. ما دلالةُ المقياسِ عندَ قطعِ التيّارِ عن الوشيعةِ خلال 0.5s تتناقصُ فيها الشّدَّةُ بانتظام؟

المسألة الثّالثة:

في تجربةِ السّكّتَين الكهرطيسيّة يبلغُ طولُ السّاقِ النُّحاسيّةِ المُستنِدةِ عموديّاً عليهما 30cm، وكتلتُها 60g.

المطلوب:

1. احسبْ شدةَ الحقلِ المغناطيسيّ المُنتظَم المُؤثِّرة عموديّاً في السّكّتَين لتكونَ شدةُ القوّةِ الكهرطيسيّة مُساويةً مِثلَي ثقلِ السّاقِ، وذلكَ عندَ إمرارِ تيّارٍ كهربائيّ شدتُه 20 A.
2. احسبْ عملَ القوّةِ الكهرطيسيّة المُؤثّرة في السّاق إذا تدحرجَت بسرعةٍ ثابتةٍ قدرُها $0.4ms^{-1}$ لمدّة ثانيتَين.
3. نرفعُ المولِّد من الدّارة السّابقة، ونستبدلُه بمقياسٍ غلفاني، وندحرجُ السّاقَ بسرعةٍ وسطيّةٍ ثابتةٍ $5ms^{-1}$ ضمنَ الحقلِ السّابق. استنتجْ عبارةَ القوّةِ المُحرّكةِ الكهربائيّة المُتحرِّضة، ثمَّ احسبْ قيمتَها، واحسبْ شدَّةَ التيّار المُتحرِّض بافتراضِ أنَّ المُقاوَمةَ الكلّيَّة للدّارة ثابتةٌ وتُساوي 5Ω، ثمَّ ارسمْ شكلاً توضيحيّاً يبيّنُ جهةَ كلٍّ من $(\vec{v},\vec{B})$ وجهةَ التيّارِ المُتحرِّض.
4. احسبِ الاستطاعةَ الكهربائيّةَ النّاتجة، ثمَّ احسبِ شدَّةَ القوّةِ الكهرطيسيّة المُؤثّرة في السّاق في أثناءَ تدحرجِها.

$(g = 10\,m.s^{-2})$

المسألة الرابعة:

سكّتانِ نحاسيّتانِ مُتوازيّتان، تميلُ كلٌّ منهما على الأفقِ بزاوية $45°$، تستندُ إليهما ساقٌ نحاسيّة طولُها $\ell = 40cm$، تخضعُ بكاملِها لتأثيرِ حقلٍ مغناطيسيّ مُنتظَمٍ شاقولي شدّتُه 0.8T، نُغلِقُ الدّارة ثمَّ تُترَك لِتنزلقَ دونَ احتكاكٍ بسرعةٍ ثابتةٍ، قيمتُها $2ms^{-1}$.

المطلوب:

1. بيِّن أنَّه تنشأ قوّةٌ كهرطيسيّة تعيقُ حركةَ السّاق.
2. استنتج العلاقةَ المُحدَّدةَ للمُقاومةِ الكليّة للدّارة، ثمَّ احسبْ قيمتَها إذا كانت شدّةُ التيّارِ المُتحرِّض المُتولد فيها $\sqrt{2}A$.
3. استنتجِ العلاقةَ المُحدَّدة لكتلةِ السّاقِ، ثمَّ احسب قيمتَها.

المسألة الخامسة:

إطارٌ مربَعُ الشّكلِ طولُ ضلعِه $4\,cm$، مؤلَّفٌ من 100 لفةٍ مُتماثِلة من سلكٍ نحاسيّ معزول، نديرُ الإطارَ حولَ محوَّرٍ شاقوليّ مارٍّ من مركزه ومن ضلعَين أفقيَّين مُتقابِلَين بحركةٍ دائريّةٍ مُنتظَمةٍ تقابلُ $\frac{10}{\pi}\,Hz$ ضمنَ حقلٍ مغناطيسيٍّ مُنتظَمٍ أفقيّ شدتُه $5 \times 10^{-2}\,T$، خطوطُه ناظميّة على سطحِ الإطارِ قبلَ الدّوران حيثُ الدّارة مُغلقة ومُقاوَمتُها $R = 4\Omega$.

المطلوب:

1. اكتبِ التّابعَ الزمنيّ للقوّةِ المُحرّكةِ الكهربائيّةِ المُتحرِّضةِ الآنيّةِ النّاشئةِ في الإطار.
2. عيّنِ اللّحظتَين الأولى والثّانية التي تكونُ فيها قيمةُ القوّةِ المُحرّكةِ الكهربائيّةِ المُتحرِّضةِ الآنيةِ الناشئةِ معدومةً.
3. اكتبِ التابعَ الزمني للتيار الكهربائيّ المُتحرّضِ اللّحظيّ المارّ في الإطارِ. (نهملُ تأثيرَ الحقلِ المغناطيسيّ الأرضّي)

تفكير ناقد

تُعطَى القوّةُ المُحرّكةُ الكهربائيّةُ المُتحرّضةُ الذّاتية بالعلاقةِ: $\varepsilon = -L\frac{di}{dt}$

ناقِشْ علاقةَ ε في كلٍّ من الحالتَين الآتيتَين موضّحاً جهةَ التيّارِ المُتحرِّض:

1. عندَما تزدادُ شدّةُ التيّارِ المُحرّض المارّ في الوشيعة.
2. عندَما تتناقصُ شدّةُ التيّارِ المُحرّض المارّ في الوشيعة.

أبحث أكثر

- **تُستثمَرُ تيّاراتُ فوكو في تطبيقاتٍ حياتيّةٍ كثيرةٍ ومُتنوّعةٍ، ابحثْ في طريقةِ استخدامِ تيّاراتِ فوكو في مكابحِ بعضِ القطاراتِ الحديثةِ، وفي الأجهزةِ المُستخدَمة للكشفِ عن المعادنِ في نقاطِ التّفتيش الأمنيّة ولاسيّما في المطارات.**
- **تستثمِرُ بعضُ الطّائراتِ التيّاراتِ الكهربائيّةَ المُتحرّضةَ في دارتِها الكهربائيّةِ على إبقاءِ مُحرِّكِها في حالةِ عملٍ حتّى لو حدثَ عِطلٌ في أيّ نظامٍ كهربائيٍّ فيها، كيفَ يتمُّ ذلكَ؟**





4 الدَّاراتُ المُهتزَّة والتيّاراتُ عاليةُ التَّواتُر

الأهداف:

* يتعرّفُ الدَّارةَ المُهتزَّة.
* يقومُ بتجاربَ على الدَّاراتِ المُهتزَّة.
* يستنتِجُ علاقاتِ التَّفريغ المُهتزّ.
* يتعرّفُ التيّاراتِ عاليةَ التَّواتُر: توليدها وخواصّها وتطبيقاتها.

الكلمات المفتاحية:

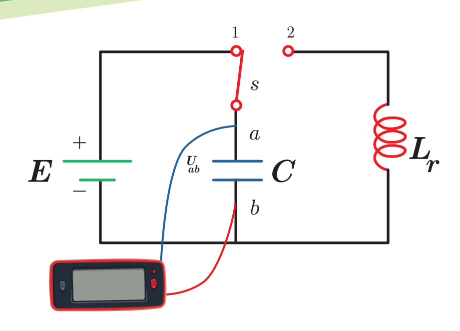
* الدَّارةُ المُهتزَّةُ.
* التَّفريغُ المُهتزُّ.
* دورُ التَّفريغ.
* التيّاراتُ العاليةُ التَّواتُر.
* التيّاراتُ المُنخفِضةُ التَّواتُر.



هل تساءلتَ يوماً لماذا لا تتأثَّرُ أجسامَنا بأمواجِ الإذاعةِ والتَّلفزيون؟ كيفَ يصلُ هذا الإرسالُ إلى الأماكنِ البعيدةِ؟

دارةُ الاهتزازِ الكهربائيّ:

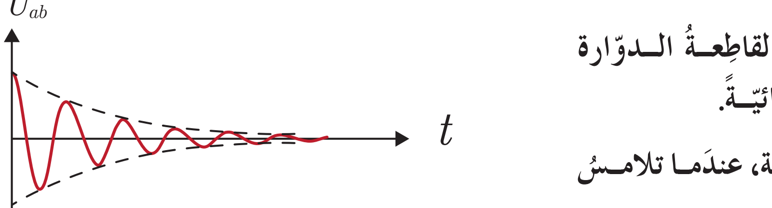
نشاط:



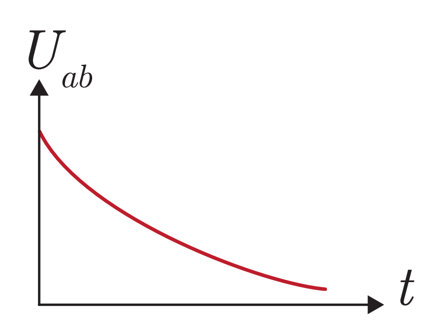
نشـكّلُ دارةً مـن مولّـدٍ قوتُـه المُحرّكـة الكهربائيّـة E ، ومُكثّفـةً سـعتُها C ، ووشـيعةً ذاتيّتُهـا L ، مُقاوَمتُهـا r صغيـرة، وقاطعـةً دوّارةً S ، كمـا فـي الشّـكلِ، ونصـلُ لبوسَـي المُكثّفـة براسـمِ اهتـزازٍ مهبطـيّ.

1. أفسّـرُ مـاذا يحـدثُ لِلمُكثّفـة عندَمـا نصـلُ القاطعـةَ الـدوّارة الـى الوضـع (1)؟
2. أفسّرُ ماذا يحدثُ لِلمُكثّفة عندَما نصلُ القاطعةَ الدوّارة الى الوضع (2)؟
3. نصـلُ مـع الوشـيعةِ وعلـى التّسلسـل مُقاوَمـةً مُتغيّـرةً، ونزيـدُ تدريجيّاً قيمـةَ المُقاوَمـة، مـاذا يظهـرُ علـى الشّـاشـة؟ ولمـاذا؟
4. هل يمكنُ أن يظهرَ على الرّاسمِ مُنحنٍ جيبيّ، اقترحْ طريقةً لتحقيقِ ذلك؟

النّتائجُ:



- **تُشـحَنُ المُكثّفـةُ عندَمـا تلامـسُ القاطِعـةُ الـدوّارة الوضـعَ (1) فتختـزنُ طاقـةً كهربائيّـة.**
- **تتفـرّ غُ شـحنةَ المُكثّفـة عبـرَ الوشـيعة، عندَمـا تلامـسُ القاطعـةَ الوضـع (2).**
- **يظهـرُ علـى شاشـةِ راسـمِ الاهتـزازِ المُنحنـي البيانـيّ للتوتّـر بيـنَ طرفَـي المُكثّفـة بدلالـةِ الزّمـن فـي أثنـاءِ تفريـغِ شـحنتِها علـى شـكلِ تفريـغٍ دوريّ مُتنـاوب مُتخامِـد تتناقـصُ فيـه سـعةُ الاهتـزازِ حتّـى تبلـغُ الصّفـر، لـذا نقـولُ إنّ الاهتـزازاتِ الحاصلـةَ هـي اهتـزازاتٌ حـرّةٌ مُتخامِـدة؛ لأنّهـا لا تتلقـى طاقـةً مـن المولّـد.**
- **نسـمّي الـدّارة المُؤلّفـة مـن مُكثّفـة، ووشـيعة ذاتِ المُقاوَمـة الصّغيـرة بالـدّارة المُهتـزّة الحـرّة المُتخامِـدة، ويكـونُ زمـنُ الاهتـزاز T_0 ثابتـاً، وبمـا أنّ سـعةَ الاهتـزاز مُتناقِصـة نسـمّي هـذا الزمـن بشـبهِ الـدّور.**



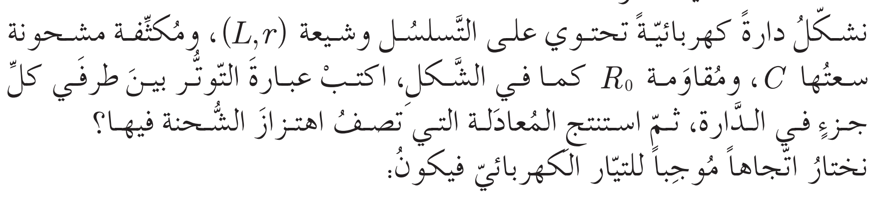
- **عندَما نصلُ مع الوشيعة في دارةِ الاهتزازِ الكهربائـيّ علـى التّسلسـل مُقاوَمـة مُتغيّـرة، نجـدُ أنّـه كُلّمـا زدْنـا قيمـةَ المُقاوَمـة أصبـحَ تخامُـدُ الاهتـزازِ أشـدَّ، وإذا بلغَـت المُقاوَمـةُ قيمـةً كبيـرةً يظهـرُ علـى شاشـة الرّاسـم المُنحني البيانـيّ الموضـّح في الشّـكلِ جانباً، حيثُ التّفريغُ لا دوريّ باتّجاهٍ واحدٍ**

إذاً في الدّارة C,L,R:

1. المُقاوَمة كبيرة بشكل كافٍ يكونُ التّفريغ لا دوريّاً باتّجاهٍ واحدٍ.
2. المُقاوَمة صغيرة يكونُ التّفريغ دوريّاً مُتخامِداً باتّجاهَين شبهِ الدّور T_0.
3. إذا أهملْنـا المُقاوَمـات أو عوّضْنـا عـن الطّاقـات الضّائعـة يصبـحُ التّفريـغُ جيبيّـاً، سـعةُ الاهتـزازِ فيـه ثابتـةٌ، ودورُه الخـاصّ T_0 وهـذه حالـةٌ مثاليّـة.

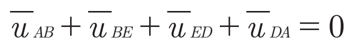
الدّراسةُ التّحليليّة للدّارة C,L,R :

المُعادَلة التّفاضُليّة للدّارةَ:



نشكّلُ دارةً كهربائيّةً تحتوي على التّسلسُل وشيعة (L,r)، ومُكثّفة مشحونة سعتُها C، ومُقاوَمة R_0 كما في الشّكلِ، اكتبْ عبارةَ التّوتّر بينَ طرفَي كلِّ جزءٍ في الدّارة، ثمّ استنتج المُعادلة التي تَصفُ اهتزازَ الشّحنة فيها؟

نختارُ اتّجاهاً مُوجِباً للتيّار الكهربائيّ فيكونُ:



$$\overline{u}_{AB}+\overline{u}_{BE}+\overline{u}_{ED}+\overline{u}_{DA}=0$$

ولكن: $u_{DA}=0$ لإهمال مُقاوَمة أسلاك التوصيل.

التّوتُّر بينَ طرفَي المُكثّفة: $\overline{u}_{ED}=\frac{\overline{q}}{C}$.

التّوتُّر بينَ طرفَي المُقاوَمة: $\overline{u}_{BE}=R_0\,\overline{i}$.

التّوتُّر بينَ طرفَي الوشيعة: $\overline{u}_{AB}=L(\overline{i})'_t+r\overline{i}$

نعوّضُ:

$$L(\overline{i})'_t+r\overline{i}+R_0\,\overline{i}+\frac{\overline{q}}{C}=0$$

باعتبارِ:

$$R=R_0+r\,,\,\overline{i}=(\overline{q})'_t$$

نجدُ:

$$L(\overline{q})''_t+R(\overline{q})'_t+\frac{1}{C}\overline{q}=0$$

وهي مُعادَلة تفاضُليّة من المرتبة الثّانية تصفُ اهتزازَ الشّحنةِ الكهربائيّةِ في دارةٍ كهربائيّةٍ تحتوي على C,L,R.

الاهتزازاتُ الحرَّةُ في الدَّارة الكهربائيّة (L,C) :

يمكنُ إيجادُ المُعادَلة التفاضُليّة في دارةٍ مُهتزّةٍ (L,C) بتعويضِ $R=0$ نجدُ:

$$L(\overline{q})''_t+\frac{1}{C}\overline{q}=0$$

$$(\overline{q})''_t=-\frac{1}{LC}\overline{q}$$

وهي مُعادَلةٌ تفاضُليّةٌ من المرتبة الثّانية بالنّسبة لـ q تقبلُ حلّاً جيبيّاً من الشّكل:

$$\overline{q}=q_{max}\cos(\omega_0 t+\overline{\varphi})$$

حيثُ: q_{max} : الشُّحنةُ العُظمى لِلمُكثّفة.

ω_0 : النّبضُ الخاصّ.

$\overline{\varphi}$: الطّورُ الابتدائيُّ في اللّحظة $t=0$.

$(\omega_0 t+\overline{\varphi})$: طورُ الحركةِ في اللّحظة t.

عبارةُ الدَّورِ الخاصّ للاهتزازات الحرّة غيرِ المُتخامدة :

نشتقُّ تابعَ الشُّحنةِ مرّتَين بالنّسبة للزّمن نجدُ:

$$(\overline{q})'_t = -\omega_0 q_{max} \sin(\omega_0 t + \overline{\varphi})$$
$$(\overline{q})''_t = -\omega_0^2 q_{max} \cos(\omega_0 t + \overline{\varphi})$$
$$(\overline{q})''_t = -\omega_0^2 \overline{q}$$

بالموازنةِ معَ المُعادَلة: $(\overline{q})''_t = -\frac{1}{LC}\overline{q}$

نجدُ:

$$\omega_0^2 = \frac{1}{LC}$$
$$\omega_0 = \sqrt{\frac{1}{LC}}$$

ولكن: $T_0 = \frac{2\pi}{\omega_0}$

نعوّضُ فنجدُ: $T_0 = 2\pi\sqrt{LC}$

وهي عبارةُ الدَّورِ الخاصّ للاهتزازاتِ الكهربائيّةِ الحرّة غيرِ المُتخامِدة وتُسمَّى علاقة طومسون.

حيثُ:

T_0 دورُ الاهتزازاتِ الكهربائيّةِ ويقدَّر بالثانية s في الجملةِ الدّوليّة.

L ذاتيّةُ الوشيعة وتقدَّرُ بوحدةِ الهنري H في الجملةِ الدّوليّة.

C سعةُ المُكثِّفة وحدتُها في الجملة الدّوليّة الفاراد F.

عبارةُ شدّةِ التيّار الكهربائيّ في الدّارة المُهتزّة :

تتألّفُ دارةَ اهتزازٍ كهربائيّ من مُكثِّفةٍ مشحونة، ووشيعةٍ مُهملةِ المُقاوَمة، نغلقُ الدّارة. **المطلوب:**

1. اكتب تابعَ الشُّحنة بشكلِه العام، وكيفَ يصبحُ تابعُ الشُّحنة، وتابعُ شدَّةِ التيّار المارّ في الدّارة باعتبارِ مبدأ الزّمن لحظةَ إغلاقِ الدّارة.
2. ارسم المُنحنيات البيانيّة لكلٍّ من الشُّحنة والشِّدّة بدلالةِ الزّمن،ماذا تستنتجُ؟

1. يُعطَى تابعُ الشُّحنة بالعلاقة:

$$\overline{q} = q_{max}\cos(\omega_0 t + \overline{\varphi})$$

بما أنَّ مبدأَ الزّمن لحظةَ إغلاقِ الدّارة فإنّ $\varphi = 0$ وبالتالي:

$$\overline{q} = q_{max}\cos\omega_0 t$$

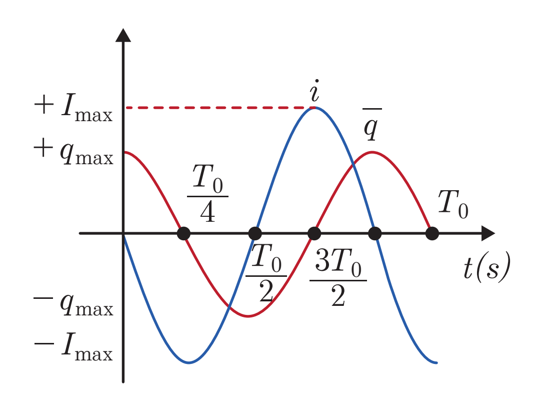
وهو تابعُ الشُّحنةِ بشكلِه المُختزَل.

إنّ تابعَ الشِّدّةَ هو مُشتَقُ تابعِ الشُّحنة بالنّسبة للزّمن، أي:

$$\overline{i} = (\overline{q})'_t$$
$$\overline{i} = -\omega_0 q_{max}\sin\omega_0 t$$
$$\overline{i} = \omega_0 q_{max}\cos(\omega_0 t + \frac{\pi}{2})$$
$$\overline{i} = I_{max}\cos(\omega_0 t + \frac{\pi}{2})$$

وهو تابعُ شدّة التيّار.

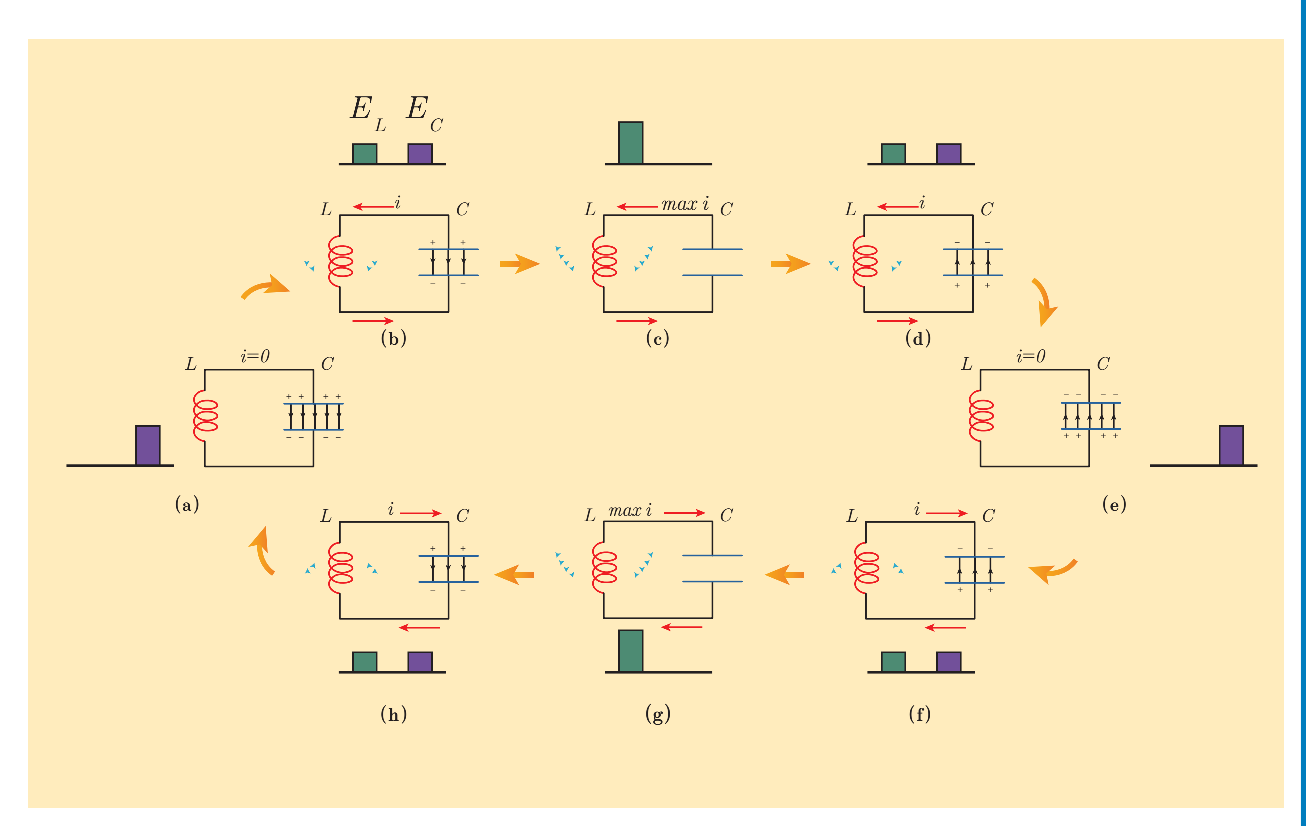
2. بمُقارَنةِ تابعِ الشِّدَّةِ معَ تابعِ الشُّحنةِ نلاحظُ أنّه على ترابُعٍ مُتقدِّمٍ بالطّور على تابعِ الشُّحنة.
انظرْ إلى الرَّسمِ البيانيّ للتّابعَين (الشُّحنة والشِّدَّة بدلالة الزّمن) واستنتجْ:



- عندَما تكونُ شحنةُ المُكثِّفة عُظمى تنعدمُ شدّةُ التيّار في الوشيعة.
- عندَما تكونُ الشِّدَّةُ عُظمى في الوشيعة تنعدمُ شحنةُ المُكثِّفة.
- تابعُ الشِّدَّةِ على ترابُعٍ متقدّم بالطّور معَ تابعِ الشُّحنة.

الطَّاقة في الدَّارة الكهربائيّة المُهتزَّة:

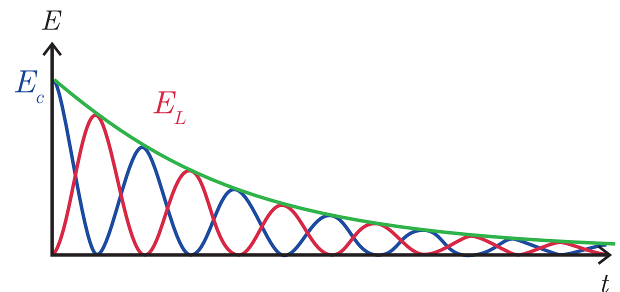
تَبادُل الطَّاقة بينَ المُكثِّفة والوشيعة



كيفَ يتمُّ تَبادُل الطَّاقة بينَ المُكثِّفة والوشيعة في الدَّارة المُهتزَّة؟

تبدأُ المُكثِّفةُ بتفريغِ شحنتها في الوشيعة فيزدادُ تيّارُ الوشيعة ببطء حتّى يصلَ إلى قيمةٍ عُظمى نهايةَ ربعِ الدَّور الأوّل من التَّفريغ عندَما تفقدُ المُكثِّفة كاملَ شحنتِها فتختزنُ الوشيعةُ طاقةً كهرطيسيّةً عُظمى $E_L = \frac{1}{2} L\, I^2_{max}$.
ثمَّ يقومُ تيّارُ الوشيعة بشحنِ المُكثِّفة حتّى يصبحَ تيّارُها معدوماً، وتصبحَ شحنةُ المُكثِّفة عُظمى، فتختزنُ المُكثِّفةُ طاقةً كهربائيّةً عُظمى $E_c = \frac{1}{2} \frac{q^2_{max}}{C}$ ، وهذا يتحقّقُ في نهايةِ نصفِ الدّور الأوَّل.

- أمّا في نصفِ الدّورِ الثّاني: تتكرَّرُ عمليتا الشَّحن والتَّفريغ في الاتّجاه المُعاكِس نظراً لتغيُّر شحنة اللّبوسَين، وهكذا يتمُّ تَبادُلُ الطّاقةِ بينَ المُكثِّفة والوشيعة.
- عندَما تكونُ مُقاوَمةُ الوشيعة صغيرةً فإنَّ الطَّاقةَ تتبدّدُ تدريجيّاً على شكلِ طاقةٍ حراريَّة بفعلِ جولٍ ممَّا يؤدِّي إلى تخامُد الاهتزاز.
- عندَ وجودِ مُقاوَمةٍ كبيرةٍ في الدَّارة فإنّ الطّاقة التي تُعطيها المُكثِّفة إلى الوشيعة والمُقاوَمة تتحوّلُ إلى حرارةٍ بفعلِ جول في المُقاوَمة، ونسمّي عندئذٍ التَّفريغَ لا دوريّاً حيثُ تتبدَّدُ طاقة المُكثِّفةِ بالكامل دفعةً واحدةً في أثناءِ تفريغِ شحنتِها الأولى عبرَ الوشيعةِ ومُقاوَمة الدَّارة.



الطَّاقةُ الكلّيّة في الدَّارة المُهتزَّة (L, C) :

الطَّاقةُ الكليّة في دارةٍ مُهتزَّةٍ هي مجموعُ طاقةِ المُكثِّفةِ وطاقةِ الوشيعة.

$E_c = \frac{1}{2} \frac{q^2}{C}$ الطَّاقةُ الكهربائيّة المُختزَنة في المُكثِّفة.

$E_L = \frac{1}{2} L\, i^2$ الطَّاقة الكهربائيّة المختزنة في الوشيعة.

الطَّاقة الكليّة في الدَّارة المُهتزَّة تُساوي مجموعَ هاتَين الطّاقتَين أي: $E = E_c + E_L$

نعوِّض $E_c = \frac{1}{2} \frac{q^2}{C} + E_L = \frac{1}{2} L\, i^2$

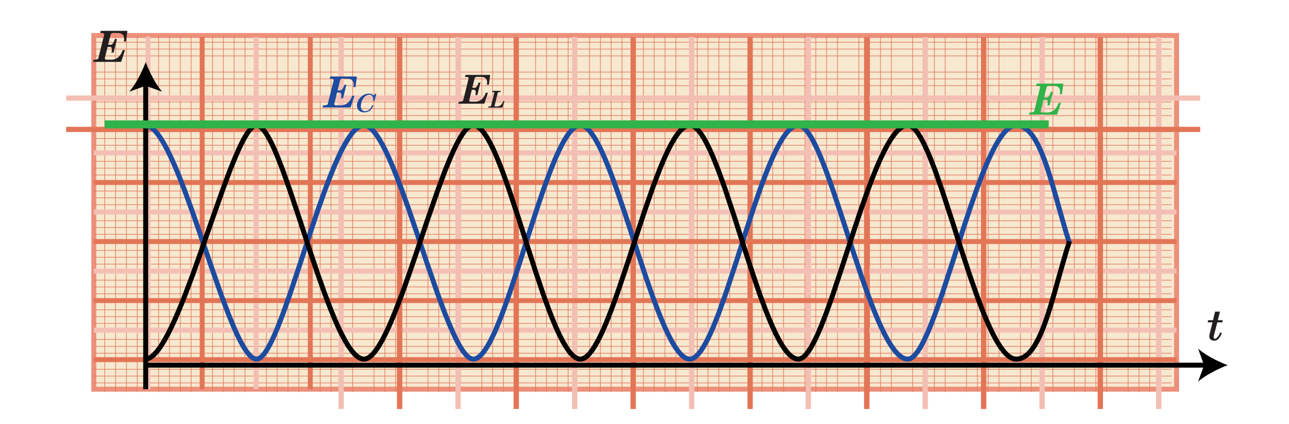
ولكن
$$\bar{q} = q_{max} \cos(\omega_0 t)$$
$$\bar{i} = -\omega_0 q_{max} \sin(\omega_0 t)$$

نعوِّض نجدُ:
$$E = \frac{1}{2} \frac{q^2_{max}}{C} \sin^2(\omega_0 t) + \frac{1}{2} L\, \omega_0^2\, q^2_{max} \cos^2(\omega_0 t)$$

ولكن:
$$\omega_0^2 = \frac{1}{L\,C}$$

بالتّعويضِ والاختصارِ نجدُ:
$$E = \frac{1}{2} \frac{q^2_{max}}{C}$$

وبالطريقةِ نفسِها نصلُ إلى العلاقة: $E = \frac{1}{2} L\, I^2_{max}$



إنّ الطَّاقةَ الكلّيّة لدارةٍ تحتوي مُكثِّفةً وذاتيّةً صرفة (ليس لها مُقاوَمة) ثابتةً وتُساوي الطاقةَ العظمى للمُكثِّفةِ المشحونةِ أو تُساوي الطاقة العُظمى للوشيعة؛ أي أنّه في دارةٍ مُهتزَّة في أثناء التَّفريغ تتحوّلُ الطَّاقةُ بشكلٍ دوريّ من طاقةٍ كهربائيّةٍ في المُكثِّفة إلى طاقةٍ كهرطيسيّةٍ في الوشيعة وبالعكس، ولكنَّ المجموعَ يبقى ثابتاً.

النتيجة:

- **الطَّاقةُ الكلّيّة للدَّارة المُهتزَّة (L, C) مقدارٌ ثابتٌ في كلِّ لحظةٍ وتمثّلُ بخطٍّ مُستقيمٍ يُوازي محورَ الزَّمن.**

مسألةٌ محلولة:

نشحنُ مُكثِّفةً سعتُها $C = 1\,\mu F$ تحتَ توتُّر كهربائيّ $U_{ab} = 100\,V$، ثمَّ نصلُها في اللَّحظة $t = 0$ بينَ طرفَي وشيعةٍ ذاتيتُها $L = 10^{-3} H$ ومقاومتُها مُهمَلة. **المطلوب حساب:**

1. الشُّحنةِ الكهربائيّة لِلمُكثِّفة والطَّاقة الكهربائيّة المُختزَنة فيها عندَ اللّحظة.
2. تواتُرِ الاهتزازاتِ الكهربائيّة المارَّة فيها.
3. شدّةِ التيّار الأعظميّ I_{max} المارّ في الدَّارة.

الحلُّ:

1. حسابُ الشُّحنةِ الكهربائيّةِ العُظمى:

$$q_{max} = C\, U_{max}$$
$$q_{max} = 1 \times 10^{-6} \times 100$$
$$q_{max} = 1 \times 10^{-4}\, C$$

2. حسابُ الطَّاقةِ الكهربائيّةِ المُختزَنة:

$$E = \frac{1}{2} C\, U^2_{max}$$
$$E = \frac{1}{2} \times 1 \times 10^{-6} \times (100)^2$$
$$E = 5 \times 10^{-3}\, J$$

3. حسابُ f_0 :

$$T_0 = 2\pi\sqrt{LC}$$
$$T_0 = 2\pi\sqrt{10^{-3}\times 1\times 10^{-6}}$$
$$T_0 \simeq 2\times 10^{-4}\,\text{s}$$
$$f_0 = \frac{1}{T_0} = \frac{1}{2\times 10^{-4}} = 5000\,\text{Hz}$$

4. حسابُ شدَّةِ التيّارِ الأعظميّ: من التّابع الزّمنيّ للشّدّة اللّحظيّة:

$$\overline{i} = \omega_0 q_{max}\cos(\omega_0 t + \frac{\pi}{2})$$
$$I_{max} = \omega_0 q_{max}$$
$$I_{max} = 2\pi f_0 q_{max}$$
$$I_{max} = 2\pi\times 5000\times 10^{-4}$$
$$I_{max} = \pi\,\text{A}$$

التيّاراتُ عاليةُ التَّواتُر:

نشاط:

تتألَّفُ دارةُ اهتزازٍ كهربائيِّ عاليةِ التَّواتُرِ من مُكثِّفةٍ سعتُها صغيرةٌ من رتبةِ 10^{-8}F، موصولةٍ مع وشيعةٍ مُهمَلةِ المُقاوَمة ذاتيتُها صغيرةٌ من رتبةِ 10^{-4}H:

احسبْ دورَ التَّفريغ وتواتُره، ماذا نسمّي التيّارَ الموافِقَ لهذا التّواتُر؟

$$T_0 = 2\pi\sqrt{LC} = 2\pi\sqrt{10^{-8}\times 10^{-4}}$$
$$T_0 = 2\pi\times 10^{-6}\,\text{s}$$
$$f_0 = \frac{1}{T_0}$$
$$f_0 = \frac{1}{2\pi\times 10^{-6}}$$
$$f_0 = \frac{1}{2\pi}\times 10^{6}\,\text{H}$$

نحصلُ على تيّارٍ عالي التّواتُر.

خصائص التيّارات عالية التَّواتُر:

1. تُبدي الوشَيعةُ مُمانَعةً كبيرةً للتيّاراتِ عاليةِ التَّواتر:

عندَ تمرير تيّار عالي التَّواتُر في دارةِ وشيعة، فإنَّ الوشيعةَ تُبدي مُمانَعةً كبيرةً لهذا التيّار.
تُعطى العلاقةُ الّتي تمثِّلُ مُمانَعة الوشيعةِ بالشَّكل:

$$Z_L = \sqrt{r^2 + \omega^2 L^2}$$

فإذا كانَت r مُهمَلةً تؤول المُمانَعة إلى ردّية الوشيعة:

$$X_L = \omega L = 2\pi \, f \, L$$

إنّ المُمانَعة تتناسبُ طرداً معَ تواتُرِ التيّار، وفي حالةِ التيّاراتِ عاليةِ التَّواتُرِ فإنّ مُمانَعةَ الوشيعةِ تكونُ كبيرةً جدّاً.

النتيجة:

- **تُبدي الوشيعةُ مُمانَعةً كبيرةً جدّاً للتيّاراتِ عاليةِ التَّواتُر فيمرُّ فيها تيّارٌ شدتُه المُنتِجةُ ضعيفةٌ جدّاً.**

2. تُبدي المُكثِّفةُ مُمانعةً صغيرةً للتيّاراتِ عاليةِ التَّواتُر:

تُعطى العلاقةُ التي تمثِّلُ مُمانَعةَ المُكثِّفةِ (الاتّساعيّة) بالشَّكل:

$$X_c = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi \, f \, C}$$

إنّ المُمانَعة تتناسبُ عكساً معَ تواتُرِ التيّارِ فهي صغيرةٌ جداً في التيّاراتِ عاليةِ التَّواتُرِ لذلكَ تُبدي المُكثّفةُ سهولةً لمرورِ هذه التيّارات.

النتيجة:

- **تُبدي المُكثِّفةُ مُمانَعةً صغيرةً جدّاً للتيّاراتِ عاليةِ التَّواتُر فيمرُّ فيها تيّارٌ شدّتُه المُنتِجةُ كبيرةٌ.**

تعلّمتُ

- نسمّي الدّارةَ المؤلّفةَ من مُكثّفةٍ ووشيعةٍ ذاتِ المُقاوَمةِ الصّغيرةِ بالدّارةِ المُهتزّةِ الحرّةِ المُتخامِدة، والاهتزازُ هنا للإلكتروناتِ الحرّةِ في الدّارةِ والذي ينتجُ عن تغيّراتٍ دوريةٍ في التوتُّر والتيّار، ويكونُ زمنُ الاهتزازِ T_0 ثابتاً، وبما أنَّ سعةَ الاهتزازِ مُتناقِصةٌ لذلكَ نسمّي هذا الزّمنُ بشبهِ الدّور.
- في الدّارة C, L, R:
  - المُقاوَمةُ كبيرةٌ بشكلٍ كافٍ يكونُ التّفريغ لا دوريّاً باتّجاه واحد.
  - المُقاوَمةُ صغيرةٌ يكونُ التّفريغُ دوريّاً مُتخامِداً باتّجاهين شبه الدّور T_0.
  - إذا أهملْنا المُقاوَماتِ أو عوّضْنا عن الطّاقات الضّائعة يصبحُ التّفريغُ جيبيّاً، سعةُ الاهتزازِ فيه ثابتةٌ ودورُه الخاصّ T_0، وهذه حالةٌ مثاليّة.
- عبارةُ الدّور الخاصّ للاهتزازاتِ الكهربائيّةِ الحرّة غير مُتخامِدةٍ وتُسمَّى علاقةَ طومسون.

$$T_0 = 2\pi\sqrt{L\,C}$$

- الطّاقة الكلية في الدّارة المُهتزّة (L, C):

$$E = \frac{1}{2}\frac{q^2_{max}}{C}$$
$$E = \frac{1}{2}L\,I^2_{max}$$

- تُبدي الوشيعةُ مُمانَعةً كبيرةً جدّاً للتيّاراتِ عاليةِ التّواترِ فيمرُّ فيها تيّارٌ شدّتُه المُنتِجةُ ضعيفةٌ جدّاً.
- تُبدي المُكثِّفةُ مُمانَعةً صغيرةً جدّاً للتيّاراتِ عاليةِ التّواترِ فيمرُّ فيها تيّارٌ شدّتُه المُنتِجةُ كبيرةٌ.





أختبر نفسي

أولاً: اخترِ الإجابةَ الصّحيحة:

1. تتألّفُ دارةٌ مُهتزّةٌ من مُكثّفةٍ سعتُها C، ووشيعةٍ ذاتيتُها L، دورُها الخاصّ T_0، استبدلْنا المُكثّفةَ C بمُكثّفةٍ أخرى سعتها $C' = 2C$، يصبحُ دورُها الخاصّ T'_0، فتكونُ العلاقةُ بينَ الدّورَين:

   a. $T'_0 = \sqrt{2}\,T_0$ b. $T_0 = \sqrt{2}\,T'_0$ c. $T_0 = 2T'_0$ d. $T'_0 = 2T_0$

2. تتألّفُ دارةٌ مُهتزّةٌ من مُكثّفةٍ، سعتُها C، وذاتيةُ L، وتواتُرها الخاص f_0، نستبدلُ الذّاتيّةَ بذاتيةٍ أخرى بحيثُ $L' = 2L$، والمُكثّفةَ بمُكثّفةٍ أخرى سعتُها $C' = \frac{C}{2}$، فيصبحُ تواتُرها الخاصّ:

   a. $f'_0 = f_0$ b. $f'_0 = 2\,f_0$ c. $f'_0 = \frac{1}{2}\,f_0$ d. $f'_0 = \frac{1}{4}\,f_0$

ثانياً: أجب عن الأسئلةِ الآتية:

1. تتألّفُ دارةً من مُقاوَمة أومية ومُكثِّفةً فهل يمكنُ اعتبارُها دارةً مُهتزّةً؟ ولماذا؟
2. متى يكونُ توزيعُ المُكثِّفة في وشيعةٍ لا دوريّاً؟ ولماذا؟
3. استنتج أنَّ طاقةَ دارةِ (L,C) مقدارٌ ثابِتٌ في كلِّ لحظةٍ معَ رسمِ الخطوط البيانيّة.
4. كيفَ يتمُّ تَبادُلُ الطّاقةِ بينَ المُكثِّفةِ والوشيعةِ في دارةٍ مُهتزّةٍ خلالَ دورٍ واحد؟
5. لماذا تنقصُ الطّاقةُ الكلّيّة في دارةٍ مُهتزّةٍ تحوي (مُقاوَمة ذاتيّة، مُكثِّفة) في أثناءِ التَّفريغ؟
6. اكتب التّابعَ الزّمنيَّ للشُّحنة اللّحظيّة مُعتبِراً مبدأَ الزّمن عندما تكونُ $\varphi = 0$، ثمَّ استنتجْ عبارةَ الشّدّةِ اللّحظيّة ووازن بينَهما من حيثُ الطّور.

ثالثاً: أعطِ تفسيراً علميّاً معَ كتابةِ العلاقاتِ المُناسبة عندَ اللّزوم:

1. تُبدي المُكثِّفةُ مُمانَعةً كبيرةً للتيّاراتِ مُنخفضةِ التَّواتُر.
2. تُبدي الوشيعةُ مُمانَعةً كبيرةً للتيّاراتِ عاليةِ التّواتُر.
3. تَستخدمُ دارةً تحوي على التّفرُّع مُكثِّفةً ووشيعةً لفصلِ التيّاراتِ عاليةِ التّواتُرِ عن مُنخفِضةِ التّواتُر.

ثالثاً: حلَّ المسائلَ الآتية:

المسألة الأولى:

تتألّفُ دارةً مُهتزّة من:

1. مُكثِّفةٍ إذا طبقَ بينَ لبوسَيها فرقُ كمونٍ $50\ \mathrm{V}$ شحنَ كلّ من لبوسَيها $0.5\ \mu\mathrm{C}$.
2. وشيعةٍ طولُها $10\ \mathrm{cm}$ وطولُ سلكِها $16\ \mathrm{m}$ بطبقةٍ واحدةٍ مُقاوَمتُها مُهمَلة.

المطلوب:

1. احسبْ تواتُرَ الاهتزازاتِ الكهربائيّةِ المارّ فيها.
2. احسبْ شدّةَ التيّارِ الأعظميّ المارّ في الدّارة.

المسألة الثانيةُ:

نريدُ أن نحقّقَ دارةً مُهتزّةً مفتوحةً، طولُ موجةِ الاهتزازِ الذي تشعُّه $200\ \mathrm{m}$، فنؤلّفُها من ذاتيّةٍ قيمتُها $0.1\ \mu\mathrm{H}$، ومن مُكثِّفةٍ مُتغيِّرةِ السّعة.

المطلوب:

احسب سعةَ المُكثِّفةِ اللّازمة لذلكَ علماً أنَّ سرعةَ انتشارِ الاهتزاز: $3\times10^{8}\ \mathrm{m.s^{-1}}$, $C = 0.113\mu\mathrm{F}$

المسألة الثالثةُ:

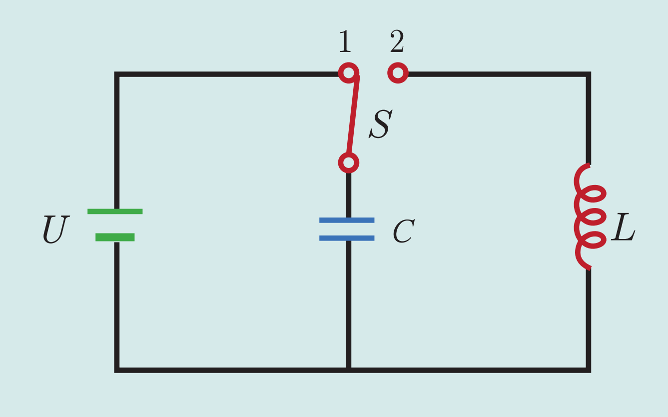
نكوّنُ دارةً كما في الشّكلِ المجاورِ والمؤلّفة من:

a. مُكثِّفةٍ سعتُها $C = 2\times10^{-5}\mathrm{F}$.

b. وشيعةٍ مُقاوَمتُها $r = \Omega$ وذاتيتها $L = \mathrm{H}$.

c. مولّدٍ يُعطي توتّراً ثابتاً قيمته $U_{max} = 6\ \mathrm{V}$.

d. قاطعةٍ.



1. نغلقُ القاطِعةَ في الوضعِ (1) لِنَشحنَ المُكثِّفة. احسبِ الشُّحنةَ المُختزَنة في المُكثِّفة عندَ نهايةِ الشّحن.
2. نغلقُ القاطعةَ في الوضعِ (2). فسِّرْ ما يحدثُ في الدَّارة.

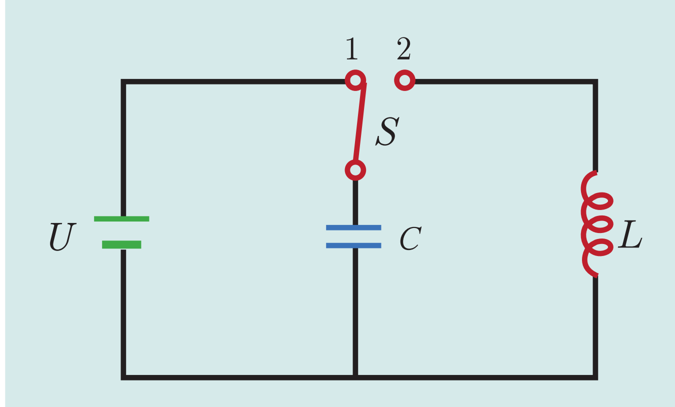
المسألة الرابعة:

مُكثَّفة سعتُها $C = 10^{-12}\ \mathrm{F}$، تُشحَنُ بوساطة مُولِّدِ تيّارٍ مُتواصِل، فرقُ الكمونِ بينَ طرفَيه $U_{max} = 10^{+3}\ \mathrm{V}$، ومقاومتُه مُهمَلة:

المطلوب:

1. احسبْ شحنةَ المُكثِّفةِ والطَّاقةَ المُختزنة فيها.
2. بعد شحنِ المُكثِّفة توصَلُ بوشيعةٍ ذاتيتُها $L = 12\ \mathrm{mH}$، مُقاوَمتها الأومية مُهمَلة. **المطلوب:**
   - a. صِفْ ما يحدثُ.
   - b. احسبْ تواتُر الاهتزازات الكهربائيّة.
   - c. اكتبِ التّابعَ الزّمني لكلٍّ من الشُّحنةِ وشدَّةِ التيّار بدءاً من الشَّكل العام مُعتبِراً مبدأ الزّمنِ لحظة وصلِ المُكثّفة المشحونةِ بالوشيعة.

المسألة الخامسة:



1. نركِّبُ الدَّارةَ الموضَّحة بالشَّكل حيثُ $L = 10^{-3}\mathrm{Hz}$
   نصلُ القاطِعةَ إلى الوضعِ (1)، احسبِ القيمةَ العُظمى لشحنةِ المُكثِّفة.
2. نحوّلُ القاطعةَ إلى الوضعِ (2)، احسبْ تواتُر التيّارِ المُهتزِّ المارّ من الوشيعةِ ونبضه، واكتبْ التّابعَ الزّمني للشّدّةِ اللّحظيّة.

تفكير ناقد

كيفَ تفصلُ التيّاراتِ عاليةِ التّواتُرِ عن التيّاراتِ مُنخفِضةِ التّواتُرِ.

أبحث أكثر

في دارةٍ مُهتزَّةٍ نحصلُ على الحالةِ المثالية عمليّاً بإضافةِ ثنائي قطبٍ يعوّضُ في كلّ لحظةٍ الطّاقةَ المُبدَّدة. أبحثُ في مُكوّناتِ ثنائي القطبِ اللّازم موضّحاً مفهومَ الحالةِ الحرجة.



5 التيّارُ المُتناوِب الجيبي

الأهداف:

* يعرّف التيّارَ المُتناوِبَ.
* يفسِّر التيّارَ المُتناوِبَ إلكترونياً.
* يَشرَحُ مبدأَ توليدِ التيّارِ المُتناوِب.
* يصفُ بتجربةٍ بسيطةٍ آثارَ التيّارِ المُتناوِب.
* يعرّفُ الاستطاعةَ في التيّارِ المُتناوِبِ.
* يستنتجُ عامل الاستطاعة في التيّارِ المُتناوِبِ.
* يَشرَحُ قوانينَ أوم.
* يطبّقُ إنشاءَ فرينل.
* يصمّمُ داراتٍ كهربائيّة.
* يتعرّفُ الرَّنينَ الكهربائيّ.

الكلمات المفتاحية:

* التّوتُّرُ اللّحظيّ.
* التّوتُّرُ الأعظميّ.
* التّوتّر المُنتِج.
* الشِّدَّة اللّحظيّة.
* الشِّدَّة العُظمى.
* الشِّدَّة المُنتِجة.
* الاستطاعة المُتوسِّطة.
* الطّنين الكهربائيّ.



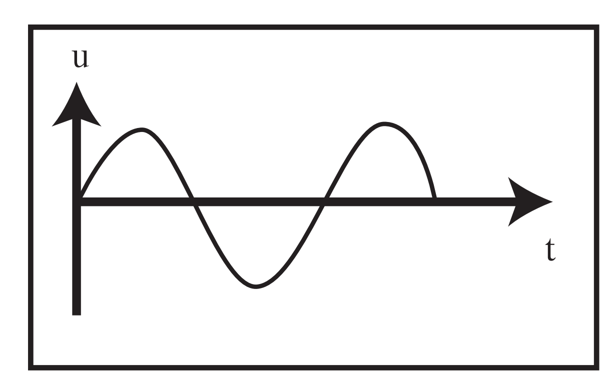
توجَدُ طريقتان لتغذيةِ الأجهزة بالطّاقة الكهربائيّة، تعتمدُ إحداها على أجهزةِ الشّحن والبطّاريّات (تيّار مُتواصِل DC)، والأخرى شبكةُ تيّار المدينة (تيّار مُتناوِب AC) التي تغذّي المنازل والمعامل، وغيرها. نستخدمُ التيّارَ المُتناوِب في كثيرٍ من جوانبِ حياتنا، حيثُ يُستخدَمُ في إضاءةِ المنازل، وتشغيلِ الأجهزة الحديثة، والمصانع، وغيرِ ذلك.

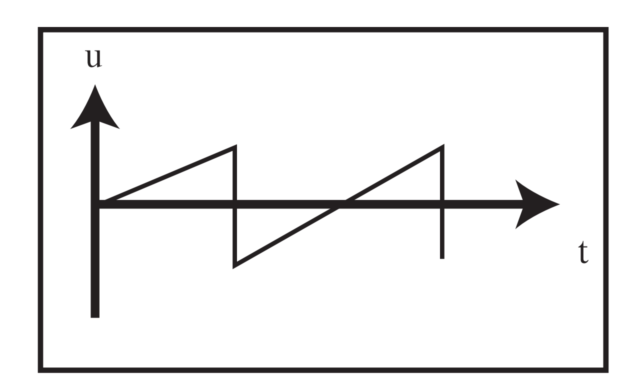
فما التيّارُ المُتناوِبُ؟ وما أنواعُه؟

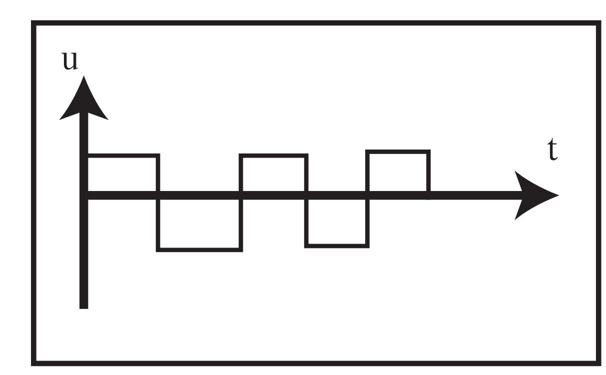
ألاحظ وأستنتج:

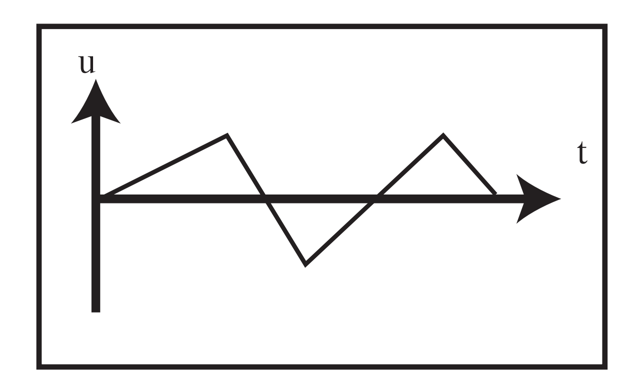
تمثّلُ الأشكالُ البيانيّة المرسومة جانباً تغيُّراتِ توتُّرِ التيّارِ مع الزّمن:

- أتتغيّرُ قيمةُ توتُّر التيّار، أم تبقى ثابتة؟
- أتتغيّرُ جهةُ التيّارِ، أم تبقى ثابتة؟
- ما شكلُ تغيُّرِ التّوتُّر في كلٍّ منها؟









النتيجة:

- **التيّارُ المُتناوِبُ هو التيّارُ الذي تتغيّرُ شدّتُه وجهتُه مع الزّمن بشكلٍ دوري.**
- **للتيّارِ المُتناوِبِ أنواع عدّة، منها التيّارُ المُتناوِبُ الجيبيُّ، والتيّارُ المُتناوِبُ المنشاريُّ، والتيّارُ المُتناوِبُ المُثلثيُّ، والتيّارُ المُتناوِبُ الرُّباعي.**

مُقارنةٌ بينَ التيّارِ المُستمِرّ والتيّارِ المُتناوِب الجيبيّ بوساطةِ راسمِ الاهتزازِ الإلكترونيّ:

أجرّب وأستنتج:

المواد اللازمة: وحدةُ تغذيةٍ، جهازُ راسمِ الاهتزازِ المهبطيّ (oscilloscope)، وشيعةٌ، مغناطيسٌ مُستقيم.

تجربة (1):

1. أصِلُ راسمَ الاهتزاز إلى منبعٍ كهربائيّ، وألاحِظُ الإشارةَ على الشّاشة، وأضبطُها على الخطّ الأفقيّ المُنصّف للشّاشة لاختيارِ مبدأٍ لقياسِ التّوتُّرات.
2. أضبطُ حساسيّةِ المدخل في الوضع 2V/diV (سلّم التوتُّرات لكلِّ تدريجةٍ على الشاشة).
3. أضبطُ قاعدةَ الزّمن في الوضع 1 ms/diV (سلّم الأزمان 1 ms لكلِّ تدريجة).
4. أضبطُ وحدةَ التّغذية على وضعيّة DC، وعلى القيمة 6V، وأصلُها في المدخل لراسمِ الاهتزاز، وألاحِظُ شكلَ الإشارة على الشّاشة، وأقرأُ قيمةَ التّوتّر.
5. أصِلُ مقياسَ فولط بينَ طرفَي وحدةِ التّغذية، وأقرأُ قيمةَ التّوتُّر.
6. أقارنُ بينَ قيمتَي التّوتُّر المقروءتَين، ماذا ألاحِظُ؟

تجربة (2):

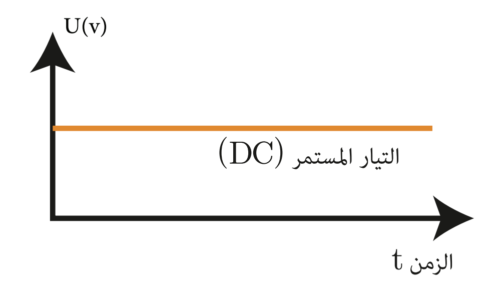
1. أضبطُ وحدةَ التّغذية على وضعيّة AC، وعلى القيمة 6V، وأصلُها في المدخل (1) لراسمِ الاهتزاز، وألاحِظُ شكلَ الإشارة على الشّاشة، وأقرأُ قيمةَ التّوتُّر.
2. أصِلُ مقياسَ فولط بينَ طرفَي وحدةِ التّغذية، وأقرأُ قيمةَ التّوتُّر.
3. أقارنُ بينَ قيمتَي التّوتُّر المقروءتَين، ماذا ألاحِظُ؟

تجربة (3):

1. أُشغِّلُ راسمَ الاهتزاز وأضبطُ الاشارة على الخط الأفقيّ المُنصِّف للشّاشة.
2. أختارُ إشارةَ التيّار المُتناوِب AC في مُولِّد الإشارة.
3. أضبطُ زرَّ التّواتُر عندَ 100 Hz مثلاً، ثمّ أصلُه براسمِ الاهتزاز المهبطيّ.
4. أغيّر قيمةَ التّوتُّر حتى أحصلَ على أكبرِ سعةٍ مُمكِنة على الشاشة، وأسجّل قيمةَ V .
5. أضبطُ زرَّ الزّمن لأحصلَ على إشارةٍ تتكرّرُ عدّةَ مرّاتٍ، وأسجّلُ قيمةَ الزّمن.
6. أحدّدُ القيمتَين الحدّيتَين للتوتّر، هل لهما القيمة نفسها، ماذا أسمّي هذه القيمة؟
7. أحدّدُ قيمةَ دورِ التيّار، وأحسبُ التّواتُر والنّبض؟

النّتائجُ:

- **التيّارُ المُستمِرُّ تيّارٌ ثابتُ الشِّدَّةِ والجهةِ مع الزّمن.**
- **التيّارُ المُتناوِبُ الجيبي تيّارٌ تتغيّرُ فيه الشّدّة، والتوتُّر جيبيّاً معَ الزّمن.**

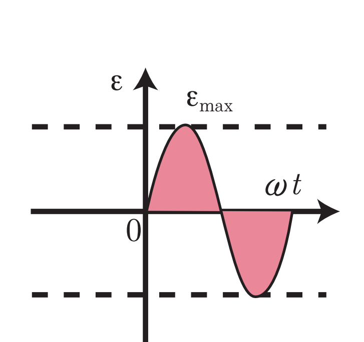


تابع الشِّدّة اللّحظيّة، وتابع التّوتُّر اللّحظيّ:

مرَّ معنا أنَّ القوّةَ المُحرِّكةَ الكهربائيّة المُتحرِّضة المُتناوِبةَ الجيبيّة تُعطى بالعلاقة:

$$\overline{\varepsilon} = \varepsilon_{max} \sin \omega t \ .... (1)$$

التّوتُّرُ المُتناوِبُ الجيبيّ يُساوي تقريباً القوّةَ المُحرِّكةَ الكهربائيّةَ في كلِّ لحظة، لذا سنستخدمُ التّوتُّرَ بدلاً من القوّةِ المُحرِّكة الكهربائيّة. ويمكنُ أن نكتبَ:



- تابعُ الشِّدّة اللّحظيّة:

$$\overline{i} = I_{max} \cos(\omega t + \overline{\varphi_1}) \ .... (2)$$

تمثّل $\overline{\varphi}_1$ الطّورَ الابتدائيّ لشدّة التيّار.

- تابعُ التّوتُّر اللّحظيّ:

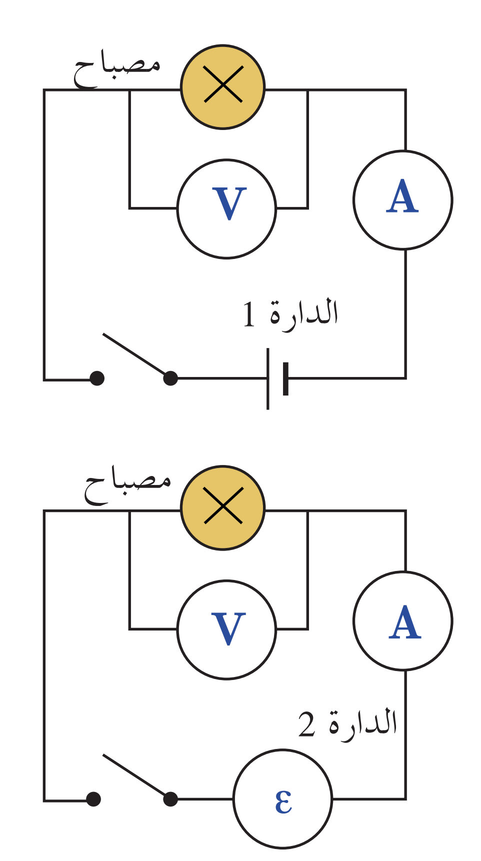
$$\overline{u} = U_{max} \cos(\omega t + \overline{\varphi_2}) \ .... (3)$$

تمثّل $\overline{\varphi}_2$ الطّورَ الابتدائيّ للتّوتُّر.

- $\overline{\varphi} = \overline{\varphi}_2 - \overline{\varphi}_1$ تمثّلُ فرقَ الطّور بينَ الشِّدّة والتّوتُّر، ويتغيّرُ بتغيّرِ مُكوِّناتِ الدّارة.

القيم المُنتجة (الفعّالة):

أجرّب وأستنتج:



1. أحقّقُ الدّارتَين الكهربائيّتَين المُمثّلتَين في الشّكل، حيثُ الدّارتان مُتماثلتان، الدّارة الأولى مُغذّاةٌ بمُولِّد تيّارٍ مُستمرّ، والثانية بمُولِّد تيّارٍ مُتناوِبٍ جيبيّ.
2. أغيّرُ قيمةَ توتُّرِ المُولِّد المُتناوِب حتّى ألاحِظَ تماثُلاً في توهُّج المصباحَين. حيثُ يشيرُ مقياسُ الأمبير للقيمةِ ذاتِها.
3. أقارنُ قيمةَ التّوتُّرِ التي يعطيها مقياسُ الفولط في كلا الدّارتَين، ماذا ألاحِظُ؟
4. أصلُ طرفَي مصباحِ الدّارة (2) في مدخلِ راسمِ الاهتزاز المهبطيّ، وأضبطُ الجهازَ للحصول على إشارةٍ واضحةٍ على الشّاشة.
5. أعيّنُ القيمةَ العُظمى لإشارة التّوتُّر U_{max}، وأقارنُها معَ القيمةِ المقروءة على مقياسِ الفولط. وأحسبُ النّسبةَ بينَهما.

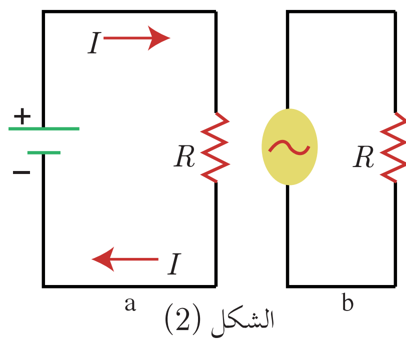
النّتائجُ:

- **تُسمَّى قيمةُ شدّة التيّار المُتناوِب الجيبيّ التي يقيسُها مقياسُ الأمبير الحراريّ في دارة التيّار المُتناوِب بالشِّدَّة المُنتِجة أو الفعّالة ويُرمَزُ لها I_{eff}.**
- **الشِّدَّةُ المُنتِجةُ للتيّار المُتناوِب الجيبيّ: هي شدّةُ تيّارٍ مُتواصِلٍ يُعطي الطّاقةَ الحراريّةَ نفسَها التي يعطيها التيّارُ المُتناوِبُ الجيبيُّ عندَ مرورهما في النّاقل الأومي نفسه خلالَ الزّمن نفسِه:**

$$I_{eff} = \frac{I_{max}}{\sqrt{2}}$$

- **تُسمَّى قيمةُ التّوتُّرِ المُتناوِب الجيبيّ التي يقيسُها مقياسُ الفولط في دارةِ التيّارِ المُتناوِبِ بالتّوتُّرِ المُنتِج، أو الفعّال ويرمَزُ لها U_{eff}.**
- **التوتُّرُ المُنتِجُ للتيّارِ المُتناوِبِ الجيبيّ يكافئ التّوتُّر المُستمِرّ الذي يقدم الطّاقة نفسها التي يقدمها التّوتُّر المُتناوِب الجيبي في الناقل الأومي نفسه خلالَ الزّمن نفسِه والتي تصرف بشكلٍ حراريّ.**
- **يرتبطُ التّوتُّرُ الأعظميُّ لتيّارٍ مُتناوِبٍ جيبي بالتّوتُّرِ المُنتِج (الفعّال) بالعلاقةِ:** $U_{eff} = \frac{U_{max}}{\sqrt{2}}$

التّفسيرُ الإلكترونيّ للتيّارِ الكهربائيّ وإمكانيةُ تطبيقِ قوانينِ أوم على داراتِ التيّارِ المُتناوِب:



الشكل (2)

يمثّلُ الشّكلانِ $(2,a),(2,b)$ رسماً تخطيطيّاً لدارتي تيّارٍ مُتواصِلٍ وآخر مُتناوِب.

ينشأُ التيّارُ المُتواصِلُ من حركة الإلكترونات الحرّة بحيثُ تكونُ الحركةُ الإجمالية وفقَ اتّجاهٍ واحدٍ، من الكمون المُنخفِض إلى الكمون المُرتفِع بسببِ وجودِ حقلٍ كهربائيّ ناتج عن التّوتُّر المُطبّق.

ينشأُ التيّارُ المُتناوِبُ من الحركةِ الاهتزازيةِ للإلكتروناتِ الحرّة حولَ مواضِعَ وسطيّةٍ بسعةٍ صغيرةٍ من مرتبةِ الميكرو متر، ويكونُ تواتُرُ هذه الحركة مساوٍ لتواتُر التيّار، وتنتجُ الحركةُ الاهتزازيّة للإلكترونات عن الحقلِ الكهربائيّ المُتغيّر بالقيمةِ والاتّجاه والذي ينتشرُ بسرعةِ الضّوء بجوار النّاقل، وينتجُ هذا التغيُّر في الحقلِ الكهربائيّ، من تغيُّر قيمةِ وإشارةِ التّوتُّر (فرق الكمون) بينَ قطبَي المنبعِ الكهربائيّ.

يُعطى طولُ موجةِ الاهتزاز λ للإلكتروناتِ في التيّارِ المُتناوِبِ بالعلاقة $\lambda = \frac{c}{f}$

حيثُ: c سرعةُ انتشارِ الضّوء في الخلاء،

f : تواتُر (تردُّد) التيّار.

فمن أجل تيّارِ المدينة الّذي تواتُره في مُعظَم دولِ العالمِ هو $f = 50\text{ Hz}$ ، نجدُ أنّ $\lambda = \frac{3\times10^8}{50} = 6\times10^6\text{ m}$ وهذا طولُ مَوجةٍ كبير مُقارَنةً مع أبعادِ الدَّاراتِ المُستخدَمة في الأجهزةِ الكهربائيّة والإلكترونيّة، فإذا أخذنا دارةً أبعادُها من رتبةِ عدَّةِ أمتارٍ نجدُ أنَّ الإلكتروناتِ تتحرَّكُ بالاتّجاه نفسِه في كاملِ الدَّارة في لحظةٍ ما، ويجتازُ مقطعَ السِّلك العددُ نفسُه من الإلكتروناتِ في كلّ نقاطِ الدَّارة، وهذا ما يسمحُ بتطبيقِ قوانينِ أوم في التيّارِ المُتواصِل على دارةِ التيّارِ المُتناوِب في كلِّ لحظةٍ عندَما يتحقَّقُ الشرطان الآتيان:

1. الدَّارةُ قصيرةٌ بالنّسبة لطولِ المَوجة.
2. تواتُرُ التيّارِ المُتناوب الجيبيّ صغيرٌ.

تهتزُّ الإلكتروناتُ الحرّة في الدَّارةِ بالنَّبض الذي يفرضُه المُولِّد، والذي يختلفُ عن النّبضِ الخاصّ، لذلك تُسمَّى الاهتزازاتُ الكهربائيّة الحاصلة بالاهتزازات القسريّة، ويشكِّلُ المُولِّدُ فيها جملةً مُحرِّضةً وبقيةُ الدَّارةِ جملةً مُجاوِبة.

مُصطلَحاتُ التيّارِ المُتناوِب

القيمة	التيّار المُتناوِب
التّوتُّر اللّحظيّ	u
التّوتُّر المُنتِج	U_{eff}
التّوتُّر الأعظميّ	U_{max}
الشِّدَّة اللّحظيّة	i
الشِّدَّة المُنتِجة	I_{eff}
الشِّدَّة الأعظميّة	I_{max}

الاستطاعاتُ في التيّارِ المُتناوِب الجيبيّ

وجدنا أنّ للتيّارِ المُتناوِبِ شِدّاتٍ، وتوتُّراتٍ لحظيّةٍ، وأعظميّةٍ، ومُنتِجةٍ، فما أنواعُ الاستطاعةِ في التيّارِ المُتناوِب؟

1. الاستطاعةُ اللّحظيّة:

تعرّفُ الاستطاعةُ اللّحظيّة P للتيّارِ المُتناوِبِ الجيبيّ بأنّها جداءُ التّوتُّر اللّحظيّ u ، في الشِّدَّة اللّحظيّة للتيّار i ويُعطى بالعلاقة:

$$P = u\,i$$

- أتكونُ الاستطاعةُ اللّحظيّة ثابتةً أم مُتغيِّرةً؟ ولماذا؟
- تتغيَّرُ هذه الاستطاعةُ من لحظةٍ إلى أخرى تبعاً لتغيُّرات كلٍّ من i و u مع الزّمن.

2. الاستطاعةُ المُتوسِّطةُ المُستهلَكة في دارة

تعرَّفُ الاستطاعةُ المُتوسِّطة بأنّها الاستطاعةُ الثابتةُ التي تقدِّمُ في الزَّمن t الطَّاقةَ الكهربائيّة E نفسَها التي يقدِّمُها التيّارُ المُتناوبُ الجيبيّ للدّارة، وهي مُعدَّلُ الطَّاقةِ الكهربائيّة المُقدَّمة نتيجة مرورِ التيّار المُتناوِب خلال الزَّمن t، وتُعطى بالعلاقة: $P_{avg} = I_{eff}\, U_{eff} \cos\varphi$

حيثُ: φ هو فرقُ الطّور بينَ الشّدّة اللّحظيّة والتّوتّر اللّحظيّ للتيّار.

3. الاستطاعةُ الظاهريّة (المُؤثِّرة)، وعاملُ الاستطاعة

اصطُلحَ على تسميةِ جداء التّوتُّر المُنتِج U_{eff} في الشِّدَّة المُنتِجة I_{eff} للتيّارِ المُتناوِبِ الجيبيّ بالاستطاعة الظّاهريّة (المُؤثِّرة) P_A، وهي تمثّلُ أكبر قيمةٍ للاستطاعةِ المُتوسِّطة.

عندما:

$$\overline{\varphi} = 0 \Longrightarrow \cos\overline{\varphi} = 1 \Longrightarrow P_{\mathrm{A}} = I_{eff}\, U_{eff}$$

أستنتجُ العلاقةَ بينَ الاستطاعةِ المُتوسِّطة، والاستطاعةِ الظّاهريّة؟

نسمِّي المعامل $\cos\overline{\varphi}$ بعاملِ الاستطاعةِ، وهو النّسبة بينَ الاستطاعةِ المُتوسِّطة P_{avg} والاستطاعةِ الظّاهريّة P_{A}.

$$\text{عامل الاستطاعة} = \frac{P_{avg}}{P_{\mathrm{A}}} = \frac{I_{eff}\, U_{eff} \cos\varphi}{I_{eff}\, U_{eff}} = \cos\varphi$$

تذكّر:

إنّ الاستطاعةَ المُتوسِّطة المُستهلَكة في جملةِ ثنائيَي قطبٍ موصولَين على التّسلسل أو على التّفرُّع تُساوي مجموع الاستطاعتَين المُستهلَكتَين في ثنائيَي القطب؛ أي: $P_{avg} = P_{avg\,1} + P_{avg\,2}$

قانونُ أوم

تطبيقاتُ قانون أوم في دارةِ تيّارٍ مُتناوِب:

أجرّب وأستنتج:

الموادّ اللازمة: منبعُ تغذيةٍ كهربائيّةٍ، ناقلُ أومي مُقاوَمتُه R، مُعدّلةٌ، وشيعةٌ ذاتيّتُها R ومقاومتُها r، مُكثِّفةٌ سعتُها C، مقياسُ فولط، مقياسُ أمبير حراري، أسلاكُ توصيل، قاطعةٌ، راسمُ اهتزازٍ مهبطيّ.



تجربة (1):

1. أصلُ الدَّارةَ (1) كما في الشَّكل المُجاوِر.
2. أغلقُ القاطعةَ، وأغيّرُ قيمةَ التّوتُّر المُطبَّق، وأسجّلُ قيمةَ شدّةِ التيّارِ الموافقِ لكلِّ توتُّرٍ في جدولٍ وفقَ الآتي:

I			
U			
$\frac{U}{I}$			



- **نسبةُ التوتُّر المُطبّق بينَ طرفَي ناقلٍ أومي إلى شدّةِ التيّار المُتواصِل المارّ فيه تُساوي مِقدار ثابت،**

$$\frac{U}{I} = R$$

أكرِّرُ التَّجرِبة باستخدامِ مأخذِ التيّارِ المُتناوِب، وأسجّلُ النتائجَ في جدولٍ وفقَ الآتي :

I_{eff}			
U_{eff}			
$\frac{U_{eff}}{I_{eff}}$			



- **نسبةُ التوتُّرِ المُنتِج المُطبّق بينَ طرفَي ناقلٍ أومي إلى الشّدّة المُنتِج للتيّار المُتناوِب المارّ فيه تُساوي مقدار ثابت،**

$$\frac{U_{eff}}{I_{eff}} = R$$

النتيجة:

- **يسلكُ النّاقلُ الأومي السلوكَ نفسَه في التيّارَين المُتواصِلِ والمُتناوِب.**

تجربة (2):

أستبدلُ بالمُقاوَمة في الدّارة السّابقة وشيعةً، وأكرّرُ التّجربةَ السّابقة باستخدامِ تيّارٍ مُتواصِلٍ، ثمَّ تيّارٍ مُتناوِب، وأسجّلُ النتائجَ في جدولٍ مُماثِلٍ، ماذا ألاحِظُ، وماذا أستنتجُ؟

النتيجة:

- **تقومُ الوشيعةُ بدورِ مُقاوَمة أومية في التيّار المُتواصِل وتقومُ بدورِ مُقاوَمة ذاتيّة في التيّارِ المُتناوب.**

تجربة (3):

أستبدلُ بالوشيعةِ في الدّارةِ السّابقة مُكثِّفةً، وأكرِّرُ التّجرِبةَ، وأنظّمُ جدولاً مُماثِلاً، ماذا ألاحِظُ، وماذا أستنتجُ؟

النتيجة:

- **لا تسمحُ المُكثِّفةُ بمرورِ التيّارِ المُتواصِلِ في حينِ أنّها تمرِّرُ التيّارَ المُتناوِب.**

المُكثِّفةُ ومرورُ التيّارِ المُتناوِب:

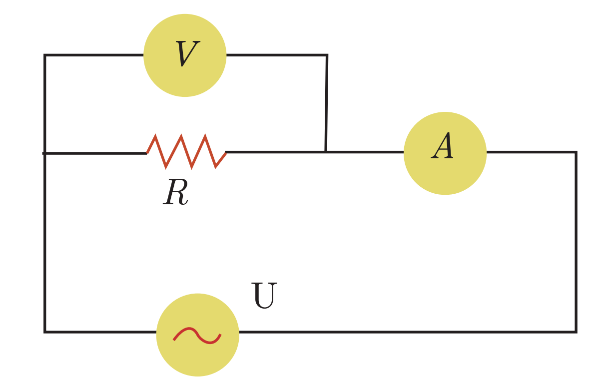
- لا تسمحُ المُكثِّفةُ بمرورِ التيّارِ المُتواصِلِ بسببِ وجودِ العازلِ بينَ لبوسَيها.
- تسمحُ المُكثِّفةُ بمرورِ التيّارِ المُتناوِب لأنّه:
عندَ وصلِ لبوسَي مُكثِّفةٍ بمأخذِ تيّارٍ مُتناوِبٍ، فإنَّ مجموعةَ الالكتروناتِ الحرّة التي يسبِّبُ مأخذَ التيّارِ المُتناوبِ اهتزازُها تشحنُ لبوسَي المُكثِّفةِ خلالَ ربعِ دورٍ بشحنتَين مُتساويتَين ومن نوعين مُختلِفَين دونَ أن تخترقَ عازلَها ثمّ تتفرغانِ في ربعِ الدّورِ الثّاني، وفي النّوبةِ الثانيةِ (الرّبعَين الثّالث والرّابع) تتكرَّرُ عمليتا الشّحنِ والتّفريغِ معَ تغيّرِ شحنةِ كلٍّ منَ اللّبوسَين.
- تبدي المُكثِّفةُ مُمانعةً للتيّارِ المُتناوِب بسببِ الحقلِ الكهربائيِّ الناتجِ عن شحنتِها.

استنتاجُ قوانينِ أوم:

1. مُقاوَمةٌ أوميةٌ في دارةِ تيّارٍ مُتناوِبٍ جيبيّ:

نطبّقُ توتّراً لحظيّاً $\overline{u}$ على مُقاوَمةٍ أوميةٍ صِرفةٍ R في دارةِ تيّارٍ مُتناوِبٍ جيبيّ مُغلَقة، فيمرُّ تيّارٌ تابعُ شدّتِه اللّحظيّة $\overline{i} = I_{max} \cos \omega t$:

تابعُ التّوتّرِ اللّحظيّ بينَ طرفي المُقاوَمة:



$$\overline{u} = R\, \overline{i}$$

نعوّضُ فنجدُ:

$$\overline{u} = R\, I_{max} \cos \omega t$$

لكن: $X_R = R$ تدعى بممانعة المُقاوَمة

باعتبارِ $U_{max} = R\, I_{max}$

نجدُ: $U_{max} = X_R\, I_{max} ......(1)$

إذاً يكونُ تابعُ التّوتّرِ بينَ طرفَي المُقاوَمة الصِّرف:

$$\overline{u} = U_{max} \cos \omega t$$

بالمُقارَنة بينَ تابعَي الشِّدَّة والتّوتُّرِ نجدُ أنّ $\overline{\varphi} = 0$

أي أنَّ المُقاوَمة تجعلُ التّوتُّرَ المُطبَّق بينَ طرفَيها على توافُقٍ بالطّورِ معَ الشِّدَّة.

للحصولِ على القيمِ المُنتِجة نقسِّمُ طرفَي العلاقة (1) على $\sqrt{2}$:

$$\frac{U_{max}}{\sqrt{2}} = X_R \frac{I_{max}}{\sqrt{2}} \Longrightarrow$$

$$U_{eff} = X_R\, I_{eff}$$



يُسمَّى هذا التّمثيل بتمثيل فرينل

تُعطى الاستطاعةُ المُتوسِّطةُ المُستهلَكة بالعلاقة:

$$P_{avg} = U_{eff}\, I_{eff} \cos \varphi$$

لكن في حالةِ المُقاوَمة الصّرف: $\varphi = 0$

$$\cos\varphi = 1$$
$$P_{avg} = U_{eff}\, I_{eff}$$

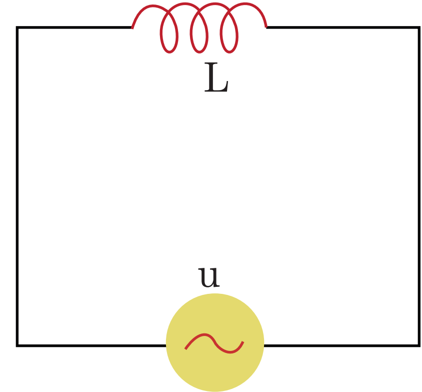
لكن: $U_{eff} = R\, I_{eff}$ نعوّضُ فنجدُ:

$$P_{avg} = R\, I_{eff}^2$$

وهذا يدلُّ على أنَّ الطَّاقةَ تصرفُ في المُقاوَمة حراريّاً بفعلِ جول.

2. وشيعةٌ مُهمَلةُ المُقاوَمة (ذاتيّة صرف) في دارةِ تيّارٍ مُتناوِبٍ جيبيّ:

نطبِّقُ توتُّراً لحظيّاً $\overline{u}$ على وشيعةٍ ذاتيّتُها L ومقاومتُها الأوميّة مُهمَلةٌ في دارةِ تيّارٍ مُتناوِبٍ جيبيّ مُغلَقة، فيمرُّ تيّارٌ تابعُ شدّتُه اللّحظيّة:



$$\overline{i} = I_{\max}\cos\omega t$$

تابعُ التّوتُّرِ اللّحظيّ بينَ طرفَي الوشيعة:

$$\overline{u} = L\frac{d\,\overline{i}}{d\,t}$$

لكن: $$\frac{d\,\overline{i}}{d\,t} = -I_{\max}\,\omega\sin\omega t$$

أي: $$\frac{d\,\overline{i}}{d\,t} = I_{\max}\,\omega\cos(\omega t + \frac{\pi}{2})$$

نعوّضُ في العلاقة نجدُ:

$$\overline{u} = L\,\omega\, I_{\max}\cos(\omega t + \frac{\pi}{2})$$

نسمّي المقدارَ $X_L = L\,\omega$ بمُمانَعة الوشيعة مُهمَلةِ المُقاوَمة وتُسمَّى ردّيّة الوشيعة.

تصبحُ العلاقةُ بالشَّكل:

$$\overline{u}_L = X_L\, I_{\max}\cos(\omega t + \frac{\pi}{2})$$

لكن:

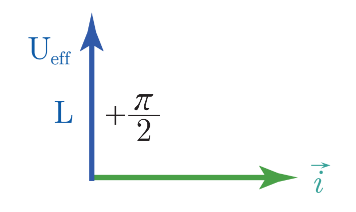
$$U_{\max_L} = X_L\, I_{\max}\,.........(2)$$

يصبحُ تابعُ التّوتُّر بينَ طرفَي الوشيعة:

$$\overline{u}_L = U_{\max_L}\cos(\omega t + \frac{\pi}{2})$$

بالمُقارَنة بينَ تابعَي الشِّدَّة والتّوتُّر نجدُ أنّ الوشيعةَ مُهمَلةَ المُقاوَمة تجعلُ التّوتُّرَ اللّحظيَّ يتقدَّمُ بالطّور على الشِّدَّة اللّحظيّة بمقدارِ $\frac{\pi}{2}$ rad (ترابع متقدم)

للحصولِ على القيمِ المُنتِجةِ نقسّم طرفَي العلاقة (2) على $\sqrt{2}$:



$$\frac{U_{\max_L}}{\sqrt{2}} = X_L \frac{I_{\max}}{\sqrt{2}} \Longrightarrow$$
$$U_{eff_L} = X_L I_{eff}$$

تُعطَى الاستطاعةُ المُتوسِّطة المُستهلَكة:

$$P_{avg} = U_{eff} I_{eff} \cos\varphi$$

لكن في حالةِ الوشيعةِ مُهمَلةِ المُقاوَمة تكونُ $\varphi = \frac{\pi}{2}\,\text{rad}$

$$\cos\varphi_L = 0$$
$$P_{avg_L} = 0$$

أي أنّ الاستطاعةَ المُتوسِّطة في الوشيعةِ مُهمَلةِ المُقاوَمة معدومةً، فالوشيعةُ مُهمَلةُ المُقاوَمة تختزنُ طاقةً كهرطيسيّة خلالَ ربعِ دورٍ لتعيدَها كهربائيّاً إلى الدّارةِ الخارجيّة خلالَ ربعِ الدّور الذي يليه، أي أنَّ الوشيعةَ لا تستهلكُ طاقة.

ملاحظة: إذا كانَ للوشيعة مُقاوَمةٌ أومية r، فإنَّ مُمانَعتَها تُعطى بالعلاقة:

$$Z_L = \sqrt{r^2 + X_L^2}$$

ويكونُ عاملُ استطاعةِ الوشيعة في هذه الحالة:

$$\cos\overline{\varphi}_L = \frac{r}{Z_L}$$

وتابعُ التّوتُّر اللّحظيّ يصبح:

$$\overline{u}_L = U_{\max}\cos(\omega t + \varphi_L)$$

وبالتالي فإنَّ الوشيعةَ التي مُقاوَمتُها الأومية r تجعلُ التّوتُّرَ يتقدَّمُ بمقدار φ_L على الشِّدَّة.

3. مكثّفةٌ في دارةِ تيّارٍ مُتناوبٍ جيبيّ:

نطبّقُ توتُّراً لحظيّاً $\overline{u}$ على مُكثِّفةٍ غيرِ مشحونةٍ C فيمرُّ تيّارٌ تابعُ شدّتُه اللّحظيّة :

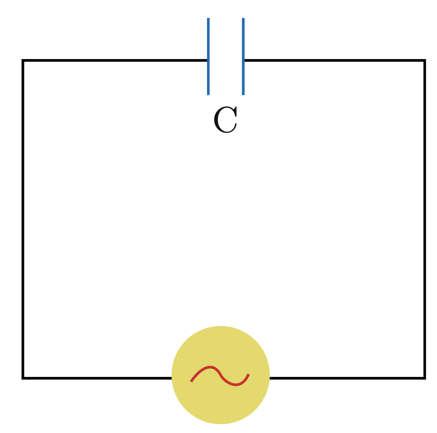
$$\overline{i} = I_{\max}\cos\omega t$$

التّوتُّرُ اللّحظيّ بينَ لبوسَي المُكثِّفةِ يُعطى بالعلاقة:

$$\overline{u} = \frac{\overline{q}}{C}$$

باعتبارِ أنّ C سعةَ المُكثِّفةَ ثابتةً، $\overline{q}$ شحنتُها المُتغيِّرة معَ الزّمن. فإنَّه خلالَ فاصلٍ زمنيّ dt تتغيُّر شحنةُ المُكثِّفةِ بمقدارِ dq، ولدينا:

$$d\overline{q} = \overline{i}\,dt$$



ولحسابِ شحنةِ المُكثِّفةِ في اللّحظة t نكاملُ فنجدُ:

$$\overline{q} = \int \overline{i}\, dt = \int I_{max} \cos(\omega t)\, dt$$

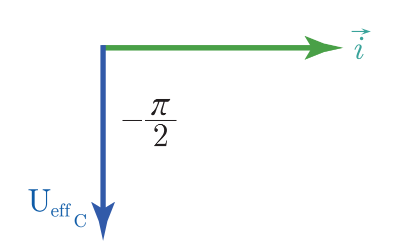
$$\overline{q} = \frac{1}{\omega} I_{max} \sin \omega t$$

نعوّضُ فنجدُ:

$$\overline{u} = \frac{1}{\omega C} I_{max} \sin \omega t$$

$$\overline{u} = \frac{1}{\omega C} I_{max} \cos(\omega t - \frac{\pi}{2})$$

ندعو المِقدارَ $X_C = \frac{1}{\omega C}$ بمُمانَعة المُكثِّفة (المُمانعة السعويّة لِلمُكثِّفة



وتُسمَّى اتّساعيّة المُكثِّفة) وتقدَّرُ بوحدةِ الأوم في الجملة الدّوليّة.

$$\overline{u} = X_C I_{max} \cos(\omega t - \frac{\pi}{2})$$

$$U_{max} = X_C I_{max} \ldots\ldots\ldots(3)$$

إذاً:

$$\overline{u_C} = U_{max_C} \cos(\omega t - \frac{\pi}{2})$$

بمُقارنةِ تابع التوتُّرِ مع تابع الشّدَّةِ نجدُ أنَّ التّوتُّرَ يتأخَّرُ عن التيّارِ بمقدارِ $\frac{\pi}{2}$ rad (ترابع مُتأخِّر).
للحصولِ علَى القيمِ المُنتجَة (الفعّالة) نقسّمُ طرفَي العلاقةِ على $\sqrt{2}$ نجدُ:

$$\frac{U_{max_c}}{\sqrt{2}} = X_C \frac{I_{max}}{\sqrt{2}} \Longrightarrow$$

$$U_{eff_c} = X_C I_{eff}$$

وهذا هو قانونُ أوم في دارةِ المُكثِّفة.
تُعطى الاستطاعةُ المصروفةُ بالعلاقة:

$$P_{avg} = U_{eff} I_{eff} \cos \overline{\varphi}$$

ولكن من أجلِ المُكثّفة: $\overline{\varphi}_c = -\frac{\pi}{2}$ rad

$$\cos \varphi_c = 0$$

$$P_{avg_c} = 0$$

الاستطاعةُ المُتوسّطة في المُكثّفة معدومةٌ، فالمُكثِّفةُ لا تستهلكُ أيّةَ طاقةٍ، لأنّها تختزنُ الطّاقةَ كهربائيّاً خلالَ ربعِ دورٍ، وتعيدُها كهربائيّاً في ربعِ الدّورِ الذي يليه.

الحالةُ العامّـة: دارةُ تيّـارٍ مُتنـاوِبٍ تحـوي علـى التَّسلسُـلِ مُقاوَمـةً وذاتيـةً صرفـاً ومُكثِّفـةً

نؤلّفُ دارةً تحوي على التّسلسُلِ الأجهزةَ الآتيةَ: مُقاوَمة أومية R ، وشيعة ذاتيتُها L مُقاوَمتُها الأومية مُهمَلةٌ، ومُكثِّفة سعتُها C ، ويمرُّ في هذه الدَّارة تيّارٌ مُتناوِبٌ جيبيٌّ تابعٌ، شدّتُه اللّحظيّة تُعطى بالعلاقة

$$\overline{i} = I_{\max} \cos \omega t$$

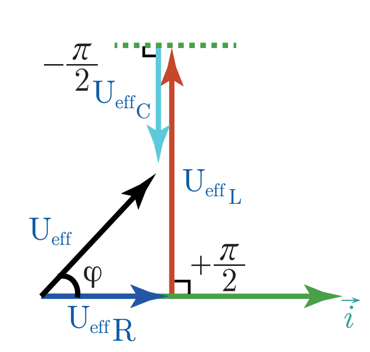
عندما نطبّقُ بينَ طرفَي الدَّارة توتُّراً مُتناوباً جيبياً، تابعُه اللّحظيّ: $\overline{u} = U_{\max} \cos (\omega t + \overline{\varphi})$

إنّ توابعَ التّوتُّراتِ اللّحظيّة الجزئيّة مُختلِفةٌ في الطور، أي:

$$\overline{u} = \overline{u}_R + \overline{u}_L + \overline{u}_C$$

بينَما التّوتُّراتُ المُنتِجةُ تُجمَعُ هندسيّاً:

$$\overrightarrow{U_{eff}} = \overrightarrow{U_{eff_R}} + \overrightarrow{U_{eff_L}} + \overrightarrow{U_{eff_C}}$$



ونعلمُ أنّ

$$\overline{\varphi}_c = -\frac{\pi}{2} \text{ rad} \ , \ \overline{\varphi}_L = +\frac{\pi}{2} \text{ rad} \ , \ \overline{\varphi}_R = 0 \text{ rad}$$

باستخدامِ إنشاءِ فرينل يمكنُنا حسابَ $\overline{\varphi} \ , U_{eff}$

مـن الرَّسـمِ بحسـبِ فيثاغـورث بفـرض $I_{eff_L} > I_{eff_C}$ نجـدُ: $U_{eff_L} > U_{eff_C}$

$$U_{eff}^2 = U_{eff_R}^2 + (U_{eff_L} - U_{eff_C})^2$$
$$U_{eff}^2 = R^2 I_{eff}^2 + (X_L - X_C)^2 I_{eff}^2$$
$$U_{eff} = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}\ I_{eff}$$
$$U_{eff} = Z\ I_{eff}$$

وهو قانونُ أوم في الحالةِ العامّة.
ومنه تكونُ مُمانَعةُ الدَّارة

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$$

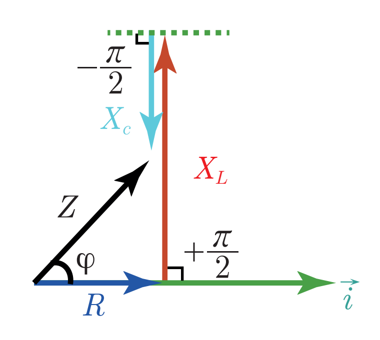
ولحسابِ $\overline{\varphi}$ من الشَّكلِ نجدُ:

$$\cos \overline{\varphi} = \frac{U_{eff_R}}{U_{eff}}$$
$$\cos \overline{\varphi} = \frac{R\ I_{eff}}{Z\ I_{eff}}$$
$$\cos \overline{\varphi} = \frac{R}{Z}$$

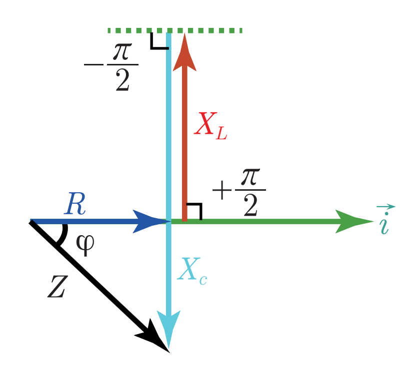
يمكننا أن نمثّل الممانعات بتمثيل كما في الشكل.

مُناقشة:

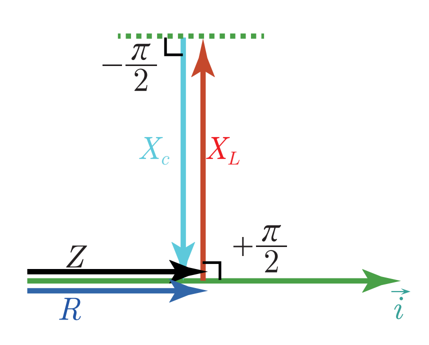
1. عندَما تكونُ رديّةُ الوشيعةِ X_L أكبرَ من اتّساعيّةِ المُكثّفة X_C يكونُ التّوتُّرُ مُتقدّماً بالطّورِ على الشّدّةِ، وتكونُ الدّارةُ ذات مُمانعةٍ ذاتيّة.



2. عندَما تكونُ ردّية الوشيعة X_L أصغرَ من اتِساعيّةِ المُكثِّفةِ X_C يكونُ التّوتُّرُ مُتأخّراً بالطّور عن الشّدّة، وتكونُ الدّارةُ ذات مُمانعةٍ سعويّة.



3. عندَما تكونُ ردّية الوشيعة X_L تُساوي اتّساعيّة المُكثّفة X_C، يكونُ التّوتُّرُ مُتفقّاً بالطّور معَ الشّدّة، وتُسمّى هذه الحالة الطّنين الكهربائيّ أو التّجاوُب الكهربائيّ.



ظاهرة الطنين:

في إحدى التّجاربِ على ظاهرةِ الطّنين في دارةٍ مُؤلّفةٍ من مُولّدِ تواتُرٍ مُنخفِض، يعطي توتُّراً مُتناوِباً جيبيّاً قيمتُه المُنتِجة (الفعّالة) U_{eff}، تواتُره f قابلان للتغيير، نصلُ بينَ طرفَيه على التّسلسُلِ وشيعةً ذاتيتُها $L = 1.95\,\text{H}$، ومقاومتُها الأومية r، معَ مُكثّفةٍ سعتُها $C = 0.5\,\mu\text{F}$، ومقاومةٌ مُتغيّرة r'، وقد سُجّلتِ النتائجُ من أجلِ قيمتَين للمُقاوَمة الكلّيّة $(R = r + r')$ في الدّارة: $R_1 = 40\,\Omega$, $R_2 = 100\,\Omega$ في الجدولِ الآتي:

$f\,(\text{Hz})$	100	120	130	140	150	155	160	165	170	180
$I_{eff_1}\,(\text{mA})$	2	3.12	4.37	6.25	11.25	16.6	25	23	16	9.37
$I_{eff_2}\,(\text{mA})$	2	3.75	4.37	6.25	10	12.5	25	14.5	12.5	8.25

المطلوب:

1. أرسمُ المُنحنيَين البيانيين لتغيّراتِ الشِّدَّة المُنتجة بدلالةِ تغيّراتِ التَّواتُرِ بالنّسبة للمُقاوَمتَين.
2. أحـدِّدُ قيمـةَ التّواتُـر f الـذي تكـونُ مـن أجلِـه الشِّـدَّة المُنتجـة I_{eff} بأكبـرِ قيمـةٍ لهـا فـي كلٍّ مـن المُنحنيَيـن البيانيَيـن.
3. أحسبُ المُمانعةَ الكلّيّة للدّارة من أجلِ التّواتُر $(160\ Hz)$، ماذا ألاحِظُ؟

النّتائجُ:

- **تحـدثُ حالـةُ التّجاوبِ الكهربائـيّ (الطّنيـن الكهربائـيّ) فـي دارةٍ تحـوي علـى التّسلسُـل مُقاوَمـة R ، و وشـيعةَ ذاتيتّهـا L ، ومُكثِّفـة سـعتُها C ، إذا كانَ النّبـضُ الخـاصّ لاهتـزازِ الإلكترونـاتِ الحـرّة w_0 يُسـاوي النّبـضَ القسـريّ w الـذي يفرضُـه المُولِّـد، ويُسـمَّى نبـضَ الطّنيـن w_r .**
- **يتّحقّقُ في حالةِ الطنين:**
  1. **ردّيةُ الوشيعةِ تُساوي اتّساعيّةَ المُكثِّفة $X_L = X_C$.**
  2. **مُمانعةُ الدّارة أصغرُ ما يمكنُ $Z = R$.**
  3. **شدّةُ التيّارِ المُنتجةِ أكبرُ ما يمكنُ $I_{eff} = \dfrac{U_{eff}}{R}$.**
  4. **التّوتُّرُ المُطبّق على توافقٍ بالطّور معَ الشِّدّة $(\varphi = 0\ rad)$، بالتالي عاملُ استطاعةِ الدّارة يساوي الواحد.**
  5. **الاستطاعةُ المُتوسّطة المُستهلكة في الدّارة أكبرُ ما يمكنُ.**
  6. **التّوتُّـرُ المُنتـجُ بيـنَ طرفَـي المنبـع يُسـاوي التّوتُّـرَ المُنتـجَ بيـنَ طرفَـي المُقاوَمـة $U_{eff} = U_{eff_R}$ ، لأنَّ التّوتُّـرَ المُنتَـجَ بيـنَ طرفَـي الوشـيعةِ يُسـاوي بالقيمـة التّوتُّـرَ المُنتـجَ بيـنَ طرفَـي المُكثّفـة $U_{eff_L} = U_{eff_C}$ ويُعاكسُـه بالجهـة، وقـد تكـونُ قيمـةُ كلٍّ منهمـا كبيـرةً جـدّاً بالنسـبة لتوتُّـر المنبـع، وتُسـتخدمُ هـذه الخاصيّـة فـي داراتِ الراديـو للحصـولِ علـى توتُّـراتٍ كبيـرةٍ بيـنَ أطـرافِ الوشـائعِ والمُكثّفـاتِ باسـتخدامِ منابـعَ ذاتِ توتُّـراتٍ محـدودةِ القيمـة.**

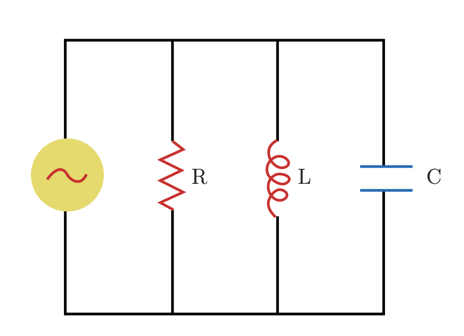
أستنتجُ دورَ وتواتُرَ الرَّنين:

في حالةِ الطنّين الكهربائيّ:

$$X_L = X_C$$
$$\omega_r L = \frac{1}{\omega_r C}$$
$$\omega_r^2 = \frac{1}{LC}$$
$$\omega_r = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$
$$\frac{2\pi}{T_r} = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$
$$T_r = 2\pi\sqrt{LC}$$

وهي العلاقةُ المُحدِّدةُ لدورِ التيّارِ في حالةِ الطّنين.
تُستخدَمُ خاصيّةُ الطّنين في عمليةِ التّوليفِ في أجهزةِ الاستقبال.

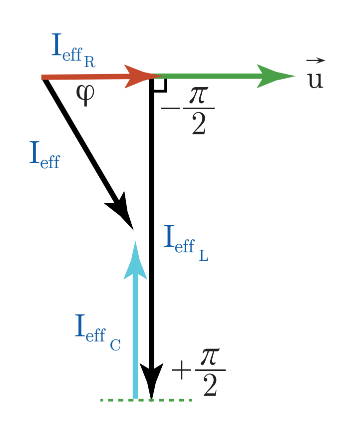
التيّاراتُ الفرعيّة:



1. الشِّدَّةُ المُنتِجةُ الكلِّيّة، والشدّاتُ المُنتِجةُ الفرعيّة:
نطبّقُ توتُّراً مُتناوِباً جيبيّاً يُعطى بالتّابع: $\overline{u} = U_{\max} \cos \omega t$ بينَ طرفَي دارةٍ تحوي على التّفرُّع مُقاومةً R، ووشيعةً مُهمَلةَ المُقاومةِ ذاتيتُها L، ومُكثِّفةً سعتُها C، فيمرُّ في الدّارةِ تيّارٌ مُتناوِبٌ جيبيّ، المطلوب:
أكتبُ تابعَ الشِّدّةِ اللّحظيّة في الدّارة، وأستنتجُ العلاقاتِ اللّازمة لحساب I_{eff} , $\overline{\varphi}$ باستخدامِ إنشاءِ فرينل.

إنَّ تابعَ الشِّدّةِ اللّحظيّة للتيّارِ في الدّارةِ الكلّيّة: $\overline{i} = I_{\max} \cos (\omega t + \overline{\varphi})$
الشّدّاتُ اللّحظيّة تُجمَع جبريّاً: $\overline{i} = \overline{i}_1 + \overline{i}_2 + \overline{i}_3$

- في فرعِ المُقاوَمةِ، الشِّدّةُ على توافقٍ بالطّور مع التّوتّرِ المُطبّق: $\overline{\varphi}_R = 0 \text{ rad}$
- في فرعِ الوشيعةِ مُهمَلةِ المُقاومة، الشِّدّةُ على تَرابعٍ مُتأخِّرٍ بالطّور عن التّوتّرِ المُطبّق: $\overline{\varphi}_L = -\frac{\pi}{2} \text{ rad}$
- في فرعِ المُكثّفة الشّدّةُ على ترابعٍ متقدّمٍ بالطّور على التّوتُّرِ المُطبّق، أي: $\overline{\varphi}_C = \frac{\pi}{2} \text{ rad}$



الشِّدّةُ المُنتِجة تجمعُ هندسياً: $\overrightarrow{I_{eff}} = \overrightarrow{I_{eff_R}} + \overrightarrow{I_{eff_L}} + \overrightarrow{I_{eff_C}}$
بإنشاءِ فرينل بافتراضِ $I_{eff_L} > I_{eff_C}$ نجدُ:

$$I_{eff}^2 = I_{eff_R}^2 + (I_{eff_L} - I_{eff_C})^2$$

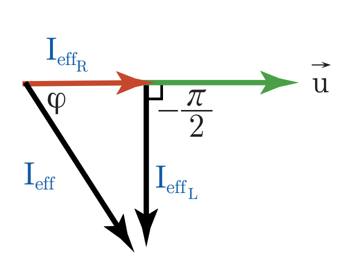
لحسابِ $\overline{\varphi}$ من إنشاءِ فرينل نجدُ:

$$\cos \overline{\varphi} = \frac{I_{eff_R}}{I_{eff}}$$

حالاتٌ خاصّة:

1. فرعانِ يحوي أحدُهما مُقاومةً، والآخرُ وشيعةً مُهمَلةَ المُقاوَمة:

$$\overrightarrow{I_{eff}} = \overrightarrow{I_{eff_R}} + \overrightarrow{I_{eff_L}}$$



- في فرعِ المُقاوَمةِ، الشِّدّةُ على توافقٍ بالطّور مع التّوتُّرِ المُطبّق

$$\overline{\varphi}_R = 0 \text{ rad}$$

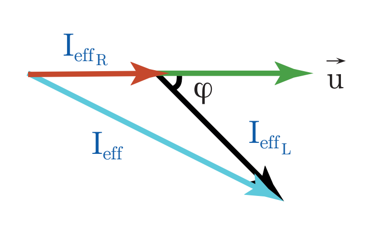
- في فرعِ الذّاتيّة، الشِّدّةُ على ترابعٍ مُتأخِّرٍ بالطّورِ عن التّوتُّرِ المُطبّق

$$\overline{\varphi}_L = -\frac{\pi}{2} \text{ rad}$$

- بالتّربيعِ نجدُ:

$$I_{eff}^2 = I_{eff_R}^2 + I_{eff_L}^2$$

2. فرعانِ يحوي أحدُهما مُقاوَمةً، والآخرُ وشيعةً ذاتَ مُقاوَمة:



- في فرعِ المُقاوَمةِ، الشِّدّة على توافق بالطور مع التّوتُّر المُطبّق

$$\overline{\varphi}_R = 0\,\text{rad}$$

- في فرع الوشيعة، الشِّدّةُ مُتأخِّرةٌ بالطّورِ عن التّوتُّرِ المُطبَّق بمقدارِ $\overline{\varphi}_L$

$$\overrightarrow{I_{eff}} = \overrightarrow{I_{eff_R}} + \overrightarrow{I_{eff_L}}$$

- بالتّربيعِ نجدُ:

$$I_{eff}^2 = I_{eff_R}^2 + I_{eff_L}^2 + 2I_{eff_R}I_{eff_L}\cos(\overline{\varphi}_L - \overline{\varphi}_R)$$

3. فرعانِ يحوي أحدُهما مُكثِّفةً، والآخرُ وشيعةً مُهمَلةَ المُقاوَمة:

$$\overrightarrow{I_{eff}} = \overrightarrow{I_{eff_R}} + \overrightarrow{I_{eff_L}}$$

- في فرعِ المُكثِّفة، الشّدّة متقدمة بالطّورِ عن التّوتُّر المُطبّق

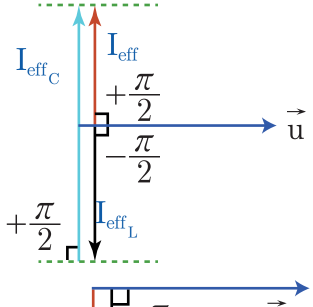
$$\overline{\varphi}_C = +\frac{\pi}{2}\,\text{rad}$$

- في فرع الوشيعة مُهمَلة المُقاوَمة الشّدّة على ترابعٍ مُتأخِّرٍ بالطّور عن التّوتُّرِ المُطبّق $\overline{\varphi}_L = -\frac{\pi}{2}\,\text{rad}$

$$\overrightarrow{I_{eff}} = \overrightarrow{I_{eff_C}} + \overrightarrow{I_{eff_L}}$$

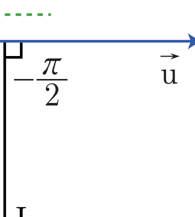
- نميّزُ الحالاتِ الآتيةِ:

1. إذا كانَ $X_C < X_L$ فإنّ $I_{eff_C} > I_{eff_L}$ وبالتالي:



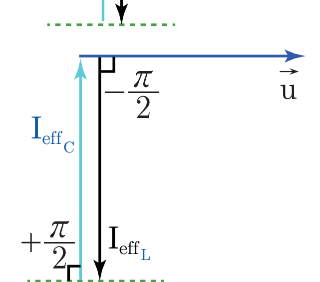

$$I_{eff} = I_{eff_C} - I_{eff_L}$$

2. إذا كانَ $X_L < X_C$ فإنّ $I_{eff_L} > I_{eff_C}$ وبالتالي:



$$I_{eff} = I_{eff_L} - I_{eff_C}$$

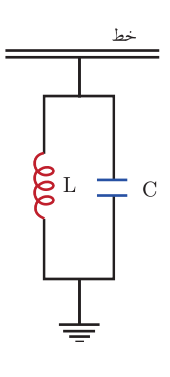
3. إذا كانَ $X_L = X_C$ فإنّ $I_{eff_L} = I_{eff_C}$ وبالتالي:



$$I_{eff} = I_{eff_L} - I_{eff_C}$$
$$I_{eff} = 0$$

وتنعدمُ الشِّدَّةُ في الدَّارةِ الخارجيّة، وتُسمَّى الدَّارة في هذه الحالة بالدَّارة الخانِقة للتيّار، ويكونُ عندَها $w_r = w$

$$X_L = X_C$$
$$\omega_r L = \frac{1}{\omega_r C}$$
$$\omega_r^2 = \frac{1}{LC}$$
$$\omega_r = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$
$$f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$



حيثُ f_r هو تواتُر الدَّارة والذي يكونُ التيّارُ المُحصَّلُ عندَه معدوماً، أي لا يمرُّ بالدَّارة الأصليّة التيّار الذي دورُه يحقق العلاقة:

$$T_r = 2\pi\sqrt{LC}$$

تستخدمُ الدَّارةُ الخانقةُ في وصلِ خطوطِ نقلِ الطَّاقةِ الكهربائيّة معَ الأرض بهدفِ ترشيحِ التَّواتُرات التي يلتقطُها الخطُّ منَ الجوّ وذلك بجعلِ تواتُرِ تجاوبِ الدَّارة المُهتزَّة مُساوياً تواتُر تيّارِ خطّ النّقل، فتكونُ ممانعتُها لا نهايةَ بالنّسبةَ لهذا التَّواتُر بينما تمرُّ بقيّةُ التَّواتُراتِ المُلتقَطة منَ الجوّ عبرَ الدَّارةِ المُهتزَّةِ إلى الأرض.

تعلّمت

- **التيّارُ المُتناوِبُ الجيبيُّ تيّارٌ تتغيّرُ فيه الشِّدّةُ، والتوتُّرُ جيبيّاً مع الزَّمن.**
- **الشِّدَّةُ المُنتِجة للتيّارِ المُتناوِبِ الجيبيّ: هي شدّةُ تيّارٍ متواصِلٍ يعطي الطَّاقةَ الحراريّةَ نفسَها التي يعطيها التيّارُ المُتناوِبُ الجيبيّ عندَ مرورِهما في النّاقلِ الأومي نفسِه خلالَ الزّمنِ نفسِه**

$$I_{eff} = \frac{I_{max}}{\sqrt{2}}$$

- **التّوتُّر المُنتِج للتيّارِ المُتناوِبِ الجيبيّ يكافئُ التّوتُّرَ المُستمِرَّ الذي يقدِّمُ الطَّاقةَ نفسَها التي يقدّمُها التّوتُّرُ المُتناوِبُ الجيبيُّ في الناقلِ الأومي نفسِه خلالَ الزَّمن نفسِه والتي تصرفُ بشكلٍ حراريٍّ.**
- **تعرّفُ الاستطاعةُ المُتوسّطةُ بأنّها الاستطاعةُ الثابتةُ التي تقدّم في الزّمن t الطَّاقةَ الكهربائيّةَ E نفسَها التي يقدّمُها التيّارُ المُتناوِبُ الجيبيُّ للدّارة، وهي معدّلُ الطّاقةِ الكهربائيّةِ المُقدَّمة نتيجةَ مرورِ التيّار المُتناوِب خلالَ الزمن t وتُعطى بالعلاقة:**

$$P_{avg} = I_{eff}\, U_{eff} \cos\varphi$$

- عاملُ الاستطاعةِ وهو النّسبة بينَ الاستطاعةِ المُتوسّطة P_{avg} والاستطاعةِ الظّاهريّة P_A.

$$\text{عامل الاستطاعة} = \frac{P_{avg}}{P_A} = \frac{I_{eff}\, U_{eff} \cos\varphi}{I_{eff}\, U_{eff}} = \cos\varphi$$

- $U_{eff} = Z\, I_{eff}$ قانونُ أوم في الحالة العامّة.
- عاملُ استطاعةِ الدَّارة $\cos\overline{\varphi} = \frac{R}{Z}$
- تحدثُ حالةُ التّجاوبِ الكهربائيّ (الطّنين الكهربائيّ) في دارةٍ تحوي على التّسلسُل مُقاوَمةً R، ووشيعةً ذاتيتُها L، ومُكثّفةً سعتُها C إذا كانَ النّبضُ الخاصُّ لاهتزاز الإلكترونات الحرّة ω_0 يُساوي النّبضَ القسريّ ω الذي يفرضهُ المُولّد، ويُسمَّى نبض الطّنين ω_r.




أختبر نفسي

أولاً: أعطِ تفسيراً علميّاً موضّحاً بالعلاقاتِ المُناسبة:

1. لا تستهلكُ الوشيعةُ مُهملةُ المُقاوَمةِ طاقةً كهربائيّة.
2. لا تستهلكُ المُكثِّفةُ طاقةً كهربائيّة.
3. لا تمرّرُ المُكثِّفةُ تيّاراً مُتواصِلاً عندَ وصلِ لبوسَيها بمأخذِ تيّارٍ مُتواصِل.
4. تسمحُ المُكثِّفةُ بمرور تيّارٍ مُتناوبٍ جيبيٍّ عندَ وصلِ لبوسَيها بمأخذِ هذا التيّارِ المُتناوبِ ولكنَّها تعرقلُ هذا المرور.
5. تكونُ الشِّدَّةُ المُنتجةُ واحدةً في عدَّةِ أجهزةٍ موصولةٍ على التّسلسُلِ مهما اختلفَت قيمُ مُمانعَتها.
6. تُستعمَلُ الوشيعةُ ذاتُ النّواةِ الحديديةِ كمُعدِّلة في التيّارِ المُتناوِب.
7. توصَفُ الاهتزازاتُ الكهربائيّةُ في التيّارِ المُتناوِب بالقسريّة.

ثانياً: أهميّةُ عاملِ الاستطاعة في نقلِ الطّاقةِ الكهربائيّة من مُولِّدِ التيّار إلى الجهازِ الكهربائيّ:

يُطلَبُ من أصحابِ التّجهيزاتِ الكهربائيّة الصّناعيّة ألّا ينقصَ عاملُ الاستطاعةِ في تجهيزاتِهم عن 0.86، كيلا تخسرَ مؤسّسةُ الكهرباءِ طاقةً إضافيةً كبيرةً نسبياً بفعلِ جول في خطوطِ نقلِها، وهي طاقةٌ لا يسجّلُها العدّادُ ولا يدفعُ المُستهلِكُ ثمنَها.

المطلوب:

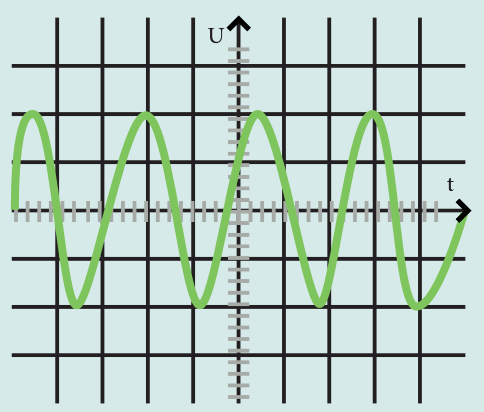
استنتج العلاقةَ التي تربطُ الاستطاعةَ الضّائعةَ في خطوطِ النّقل، والتي مُقاوَمتُها R بدلالةِ عاملِ الاستطاعةِ بفرضِ ثباتِ التّوتّرِ المُنتجِ والاستطاعةِ المُتوسّطة للدّارة.

ثالثاً:

دارةُ تيّارٍ مُتناوبٍ جيبيٍّ تابع، شدّتُه $\overline{i} = I_{max} \cos\omega t$، ارسم المُنحني البيانيّ المُمثّل لكلٍّ من الشّدَّةِ اللّحظيّة والتّوتّرِ اللّحظيّ بدلالة ωt (مُخطّط ضابط الطّور) في كلٍّ من الحالاتِ الآتية:

1. مقاومة أومية فقط.
2. وشيعة مُهمَلة المُقاوَمة فقط.
3. مُكثِّفة فقط.

رابعاً:



يُعطي راسمُ الاهتزاز إشارةَ التّوتُّرِ المُطبَّق في مدخلةٍ معَ حساسيّة المدخل عند 500 mV لكلّ تدريجه (500 mV/div) وقاعدة الزّمن عند 0.2 ms/div،

المطلوب:

1. أحدِّدُ التّوتُّرَ المُشاهَد، أهو مُستمرٌّ أم مُتغيّرٌ أم مُتناوبٌ جيبيٌّ؟
2. عيِّنْ دورَ وتواتُرَ هذه الإشارة.
3. احسبِ القيمةَ المُنتِجة للتّوتُّر.

ثانياً: حُلَّ المسائلَ الآتية:

المسألة الأولى:

يُعطى تابعُ التّوتُّرِ اللّحظيّ بينَ نقطتَين a و b بالعلاقة: $\overline{u}=130\sqrt{2}\cos 100\pi t\,(\text{Volt})$

المطلوب:

1. احسبِ التّوتُّرَ المُنتج للتيّار وتواتره.
2. نصلُ بينَ النّقطتَين a و b وشيعةً، مُقاوَمتُها $r=25\,\Omega$، وذاتيتُها $L=\frac{3}{5\pi}\,\text{H}$. احسبِ الشّدّةَ المُنتِجةَ، وعاملَ استطاعةِ الدّارة، والاستطاعةَ المُتوسّطةَ المُستهلَكة فيها.
3. نرفعُ الوشيعةَ ثمَّ نصلُ النّقطتَين a و b بمقاومةٍ $R=30\,\Omega$ موصولةٍ على التّسلسلِ مع مُكثّفةٍ سعتُها $C=\frac{1}{4000\pi}F$ ووشيعةٍ ذاتيتُها L مقاومتُها مُهمَلة، فتصبحُ الشِّدّةُ المُنتجة للتيّار بأكبرِ قيمةٍ مُمكِنةٍ لها، احسبْ قيمةَ ذاتيةِ الوشيعةِ، والشّدّةَ المُنتِجةَ للتيّار في هذه الحالة.

المسألة الثانية:

نطبّقُ توتُّراً مُتواصِلاً 6 V على طرفَي وشيعةٍ، فيمرُّ فيها تيّارٌ شدّتُه 0.5 A، وعندما نطبّقُ توتُّراً مُتناوباً جيبيّاً بينَ طرفَي الوشيعة نفسِها، قيمتُه المُنتِجة 130 V، تواتُرُه 50 HZ، يمرُّ فيها تيّارٌ شدّتُه المُنتِجة 10 A.

المطلوب:

1. احسب مُقاوَمةِ الوشيعة وذاتيتها.
2. احسب عددِ لفّاتِ الوشيعة إذا علمتَ أنَّ مساحةَ مقطعِها $\frac{1}{80}\,\text{m}^2$ وطولَها 1 m.
3. احسب سعةِ المُكثّفةِ التي يجبُ ضمُّها على التّسلسلِ معَ الوشيعةِ السّابقة حتّى يصبحَ عاملُ استطاعةِ الدّارةِ يُساوي الواحد ثمَّ حسابِ الشّدّةِ المُنتِجةِ للتيّار، والاستطاعةِ المُتوسّطةِ المُستهلَكةِ في الدّارةِ عندئذٍ.

المسألة الثالثة:

مأخذٌ لتيّارٍ مُتناوبٍ جيبيّ بينَ طرفَيه توتّرٌ لحظيٌّ يُعطى بالعلاقة: $\overline{u}=200\sqrt{2}\cos 100\pi t\,(\text{V})$

نصلُهما لدارةٍ تحوي فرعَين يحوي الأوّلُ مُقاوَمةً صرفةً يمرُّ فيها تيّارٌ شدّتُه المُنتجة 4 A، ويحوي الفرعُ الثّاني وشيعةً يمرُّ فيها تيّارٌ شدّته المُنتجة 5 A، فيمرُّ في الدّارةِ الخارجيّة تيّارٌ شدّتُه المُنتِجة 7 A.

المطلوب:

1. احسب التّوتُّرِ المُنتج بينَ طرفَي المأخذِ، وتواتُرِ التيّار.
2. احسب قيمةِ المُقاوَمةِ الصّرفة، ومُمانعة الوشيعة.
3. احسب عاملِ استطاعة الوشيعة.ثم احسبْ مُقاوَمتها.
4. احسب الاستطاعةِ الكلّيّةِ المُستهلَكةِ في الدّارة، وعاملِ استطاعةِ الدّارة.

المسالة الرَّابعة:

يُعطى تابعُ التّوتُّرِ اللّحظيّ بينَ طرفَي مأخذٍ بالعلاقة: $\overline{u} = 120\sqrt{2}\cos 120\pi t\,(\mathrm{V})$

المطلوب:

1. احسبِ التّوتّرَ المُنتجَ بينَ طرفَي المأخذِ وتواتُرِ التيّار
2. نضعُ بينَ طرفَي المأخذ مصباحاً كهربائيّاً ذاتيتُه مُهمَلة، فيمرُّ فيها تيّارٌ شدّتُه المُنتِجة 6 A، احسبْ قيمةَ المُقاوَمة أومية للمصباح، واكتبْ تابعَ الشِّدَّةِ اللّحظيّةِ المارّة فيها.
3. نصلُ بينَ طرفَي المصباحِ في الدَّارةِ السّابقة وشيعةً عاملُ $\frac{1}{2}$، فيمرُّ في الوشيعةِ تيّارٌ شدّتُه المُنتِجةُ 10 A. احسبْ ممانعةَ الوشيعة، والاستطاعةَ المُستهلَكة فيها، ثمَّ اكتبْ تابعَ الشِّدَّةِ اللّحظيّة المارّة فيها.
4. احسبْ قيمةَ الشِّدَّة المُنتِجة في الدَّارة الأصلية باستخدام إنشاء فرينل.
5. احسبِ الاستطاعةَ المُتوسِّطةَ المُستهلَكةَ في جملةِ الفرعَين، وعاملَ استطاعةِ الدَّارة.
6. احسبْ سعةَ المُكثِّفةِ الواجبِ ربطُها على التّفرُّع بينَ طرفَي المأخذِ لتصبحَ شدّةُ التيّارِ الأصليّة الجديدة على وفاقٍ بالطّور معَ التّوتُّرِ المُطبَّق عندَما تعملُ الفروعُ الثلاثة معاً.

المسالة الخامسة:

مأخذُ تيّارٍ مُتناوبٍ جيبيّ، تواتُرُه 50 Hz، نربطُ بينَ طرفَيه الأجهزةَ الآتيةَ على التّسلسُل: مُقاوَمة أومية R، وشيعة مُقاوَمتُها الأوميّة مُهمَلةٌ ذاتيتُها L، مُكثِّفة سعتُها $C = \frac{1}{2000\pi}F$، فيكونُ التّوتُّر المُنتج بينَ طرفَي كلٍّ من أجزاءِ الدَّارةِ هو على التّرتيب: $U_{eff_1} = 30\,\mathrm{V}$, $U_{eff_2} = 80\,\mathrm{V}$, $U_{eff_3} = 40\,\mathrm{V}$

المطلوب:

1. استنتجْ قيمةَ التّوتُّر المُنتج الكلّيّ بينَ طرفَي المأخذِ باستخدامِ إنشاءِ فرينل.
2. احسبْ قيمةَ الشِّدّة المُنتِجةَ المارّة في الدَّارة، ثمَّ اكتبِ التّابعَ الزَّمنيّ لتلك الشِّدَّة.
3. احسبِ المُمانعةَ الكليّة للدّارة.
4. احسبْ ذاتيةَ الوشيعة، واكتبِ التّابعَ الزَّمنيّ للتوتُّر بينَ طرفَيها.
5. احسبْ عاملَ استطاعةِ الدَّارة.
6. نضيفُ إلى المُكثِّفةِ في الدَّارة السَّابقة مُكثِّفةً C' مُناسبةً، فتصبحُ الشِّدَّةُ المُنتِجةُ للتيّار بأكبرِ قيمةٍ لها،

المطلوب:

a. حدِّدِ الطّريقةِ الّتي يتمُّ بها ضمُّ المُكثَّفتَين.

b. احسبْ سعةَ المُكثِّفةِ المضمومة C'.

c. احسبِ الاستطاعةَ المُتوسِّطة المُستهلَكة في الدَّارة في هذه الحالة.

المسالة السّادسة:

نصلُ طرفَي مأخذ تيّارٍ مُتناوبٍ جيبيّ توتُّره المُنتجُ $U_{eff} = 100\,\mathrm{V}$ وتواتُره 50 Hz إلى دارةٍ تحوي على التّسلسُل مُقاوَمةً R، ومُكثِّفةً سعتُها $C = \frac{1}{4000\pi}\,\mathrm{F}$،

المطلوب:

1. احسبْ قيمةَ المُقاوَمة إذا كانَ فرقُ الكمونِ المُنتج بينَ طرفَيها 60 V.
2. نضيفُ على التّسلسُلِ إلى الدَّارةِ السَّابقة وشيعةً مُناسِبة مُقاوَمتُها مُهمَلة بحيثُ تبقى الشِّدَّةُ المُنتِجة نفسُها، احسبْ ذاتيّة هذه الوشيعة.

3. نغيّرُ تواتُرِ التيّار في الدّارة الأخيرة بحيثُ يحصلُ توافُقٌ بالطّور بينَ شدّةِ التيّارِ والتوتُّرِ المُطبّق، احسبْ قيمةَ التّواتُر الجديد.
4. تحذفُ المُقاوَمةُ الصّرف من الدّارة ويعادُ ربطُ المُكثِّفة على التّفرُّع معَ الوشيعةِ بينَ طرفَي مأخذِ التيّار، احسبْ قيمةَ الشّدَّة المُنتِجة الأصليّة للدّارة في هذهِ الحالة باستخدامِ إنشاء فرينل.

تفكير ناقد

مَخاطِرُ الكهرباء المَنزليّة والوقايةُ منها:

1. ماهيَ مخاطرُ التيّارِ الكهربائيّ المنزلي، وكيفَ نحمي أنفسَنا والتَّجهيزاتِ المنزليّة منه.
2. تزوَدُ المآخذُ الخاصّة بالبرَّاد والغسّالة وبعضِ الأجهزةِ الأخرى بمأخذٍ ثالثٍ. (كما في الشّكلِ جانباً)
3. نشعرُ أحياناً بهزةٍ خفيفةٍ عندَ لمسِ هيكلِ بعضِ الأجهزة الكهربائيّة الموصولة بالتيّار.
4. يزوَّدُ مأخذ التيّار في الحمام بغطاءٍ بلاستيكيّ.
5. يُنصَحُ بعدمِ لمسِ الأجهزة الكهربائيّة بيدٍ مُبللة.
6. ما دورُ الفاصِمةِ، ولماذا تركَّبُ مباشرةً وراءَ العدادِ في بدايةِ الشّبكةِ المنزلية؟

أبحث أكثر

تُستخدَمُ حالةُ دارةٍ الطّنين في عمليةِ توليفِ أجهزةِ الاستقبالِ الإذاعيّة والتّلفزيونيّة. اشرحْ آليةَ عملِها في جهازِ الاستقبالِ اللاسلكيّ لاختيارِ مَحطّة الإذاعةِ المُرَّادِ سماعُها؟



6 المُحوِّلاتُ الكهربائيّة



الأهداف:

* يتعرّفُ المُحوّلةَ الكهربائيّة.
* يتعرّفُ العلاقاتِ في المُحوِّلات.
* يتعرّفُ عملَ المُحوِّلة.
* يميّزُ بينَ المُحوّلاتِ الرّافعة والمُحوِّلاتِ الخافضةِ للتوتُّر.
* يتعرَّفُ كفاءةَ المُحوِّلة.
* يستنتِجُ مردودَ نقلِ الطَّاقةِ الكهربائيّة.

الكلمات المفتاحية:

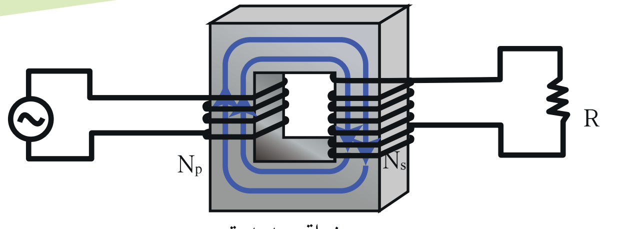
* المُحوِّلةُ.
* نسبةُ التّحويل.
* مردودُ النقل.
* كفاءةُ المُحوِّلة.



يحتاجُ عملُ بعضِ الأجهزةِ الكهربائيّةِ لتوتُّرٍ مُنخفِضٍ وبعضُها الآخرُ يحتاجُ لتوتُّرٍ مُرتفِعٍ نسبيّاً، فكيفَ يتمُّ تأمينُ التّوتُّرِ المُناسِب لعملِها؟

يعتبرُ مركزُ توليدِ الطَّاقةِ الكهربائيّة في مدينةِ بانياس من المشاريع الحيويّة التي تُساهمُ في رفدِ الاقتصاد الوطنيّ، حيثُ يتمُّ رفعُ التّوتُّر المُنتِج في محطّة التّوليد بوساطةِ مُحوِّلاتٍ رافعةٍ للتّوتُّر وذلك لتقليلِ ضياعِ جزءٍ من الطَّاقة الكهربائيّة بفعلِ جول، فما المُحوِّلةُ؟ وما عملُها؟

نشاط:



نواة حديدية

يمثّلُ الشّكلُ المُجاوِرُ دارتَين، في الأولى وشيعةٌ عددُ لفّاتِها $N_p = 300$ لفّة، موصولةٌ إلى منبعِ تيّارٍ مُتناوب، وفي الثّانية وشيعةٌ عددُ لفّاتِها $N_s = 600$ لفّة، ملفوفتَين حولَ نواةٍ مُغلَقةٍ من الحديد الليّن.

1. عندَ تطبيقِ توتُّرٍ مُتناوبٍ، قيمُه المُنتجة مُختلِفةٌ بينَ طرفَي الوشيعة الأولى، سُجّلت النّتائجُ وفقَ الجدولِ الآتي:

U_{eff_p} (V)	U_{eff_s} (V)	I_{eff_p} (A)	I_{eff_s} (A)	$\frac{N_s}{N_p}$	$\frac{U_{eff_s}}{U_{eff_p}}$	$\frac{I_{eff_p}}{I_{eff_s}}$
10	20	0.5	0.25		----	----
20	40	1	0.5		----	----
40	80	2	1		----	----

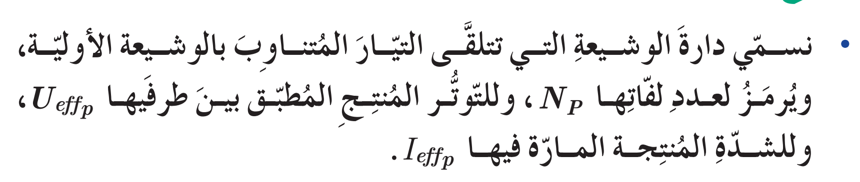
2. عندَ التبديلِ بينَ الوشيعتَين سُجّلت النتائج وفق الجدول الآتي:

U_{eff_p} (V)	U_{eff_s} (V)	I_{eff_p} (A)	I_{eff_s} (A)	$\frac{N_s}{N_p}$	$\frac{U_{eff_s}}{U_{eff_p}}$	$\frac{I_{eff_p}}{I_{eff_s}}$
10	5	0.5	1		----	----
20	10	1	2		----	----
40	20	2	4		----	----

المطلوب:

1. أكمِل الفراغاتِ في الجدولَين السّابقَين.
2. ماذا تتوقّعُ عندَ استبدالِ منبعِ تيّارٍ مُستمرٍّ بمنبعِ تيّارٍ مُتناوبٍ؟

النّتائجُ:



- **نسمّي دارةَ الوشيعةِ التي تتلقّى التيّارَ المُتناوبَ بالوشيعة الأوليّة، ويُرمَزُ لعددِ لفّاتِها N_P، وللتوتُّرِ المُنتجِ المُطبّقِ بينَ طرفيها U_{effp}، وللشّدّةِ المُنتجةِ المارّة فيها I_{effp}.**
- **نسمّي دارةَ الوشيعةِ التي نتلقّى منها التيّارَ المُتناوب (الّتي تطبّق عليها الحمولة) بالثّانوية، ويرمَزُ لعددِ لفّاتِها N_s، وللتّوتُّرِ المُنتجِ بينَ طرفيها U_{effs}، وللشّدّةِ المُنتجةِ المارّة فيها I_{effs}.**
- **يختلفُ دائماً عددَ اللفّاتِ بينَ الوشيعتَين الأوليّة والثانويّة للمُحوّلة، حيثُ تُصنعُ الوشيعةُ ذاتُ عددِ اللفّاتِ الأقلّ من سلكٍ ذي مقطعٍ أكبرَ من مقطعِ سلكِ الوشيعةِ الأخرى.**
- **تُسمّى النّسبةُ $\frac{N_s}{N_p}$ نسبةَ التّحويل ويرمَزُ لها بالرّمز μ:**

$$\mu = \frac{U_{eff_s}}{U_{eff_p}} = \frac{I_{eff_p}}{I_{eff_s}} = \frac{N_s}{N_p}$$

- **تكونُ المُحوِّلةُ رافعةً للتَّوتُّر خافضةً للشّدّة إذا كانَت $\mu > 1$.**
- **تكونُ المُحوِّلةُ خافضةً للتّوتُّر رافعةً للشّدّة إذا كانَت $\mu < 1$.**
- **المُحوِّلةُ جهازٌ كهربائيٌّ يعتمدُ على حادثةِ التّحريض الكهرطيسيّ، يعملُ على تغيير التّوتُّر المُنتِج، والشِّدَّة المُنتِجة للتيّار المُتناوب، دونَ أن يغيّرَ تقريباً من الاستطاعةِ المنقولة، أو من تواتُر التيّار، أو شكلِ اهتزازِ التيّار.**
- **يُرمزُ للمُحوِّلة في الدَّاراتِ الكهربائيّة بالرَّمز:**
- **لا تعملُ المُحوِّلاتُ الكهربائيّة عندَ تطبيقِ توتُّرٍ كهربائيّ مُتواصِل بينَ طرفَي دارتها الأوليّة.**

عملُ المُحوِّلة:

كيفَ تفسِّرُ عملَ المُحوِّلةِ عندَ تطبيقِ توتُّرٍ مُتناوبٍ جيبيّ؟
عندَ تطبيقِ توتُّرٍ مُتناوبٍ جيبيّ بينَ طرفَي الدَّارةِ الأوليّة يمرُّ فيها تيّارٌ مُتناوبٌ جيبيّ، فيتولّدُ داخلَ الوشيعةِ الأوليّة حقلٌ مغناطيسيٌّ مُتناوب، تعملُ النّواةُ الحديديّة على تمريرِ كاملِ تدفُّقه إلى الدَّارة الثّانويّة تقريباً، فتتولّد فيها قوّة مُحرِّكة كهربائيّة تساوي التَّوتُّر المُتناوب الجيبيّ بينَ طرفَيها بإهمالِ مُقاوَمة أسلاكِ الوشائع في المُحوِّلة، فيمرُّ فيها تيّارٌ كهربائيٌّ مُتناوبٌ له تواتُرُ التيّار المارّ في الأوليّة.

كفاءةُ المُحوِّلة الكهربائيّة:

عندَ تمريرِ تيّارٍ كهربائيّ في ناقلٍ أومي يضيعُ قسمٌ من الطّاقة الكهربائيّة حراريّاً بفعلِ جول.
تصنّف الاستطاعة الضّائعة في المُحوِّلة الكهربائيّة إلى:

1. استطاعة ضّائعة حراريّاً:
   - استطاعة ضائعة حراريّاً في الدَّارة الأوّلية: $P'_p = R_p\, I^2_{eff_p}$
   - استطاعة ضائعة حراريّاً في الدَّارة الثانوية: $P'_s = R_s\, I^2_{eff_s}$
   - استطاعة كلّيّة ضّائعة حراريّاً: $P_E = P'_p + P'_s$
2. استطاعة كهربائيّة ضّائعة مغناطيسيّاً نتيجةَ هروبِ جزءٍ من خطوط الحقل المغناطيسيّ خارجَ النّواةِ الحديديّة P_M .

عندَ إهمال مُقاوَمةِ أسلاكِ الوشيعة الأوليّة فإنَّ التيّارَ يعاني فيها فقط من المُمانَعة التّحريضيّة، وبالمُقابِل يُعاني التيّارُ المارّ في الوشيعة الثّانوية من المُقاوَمة الكهربائيّة للحمولة فضلاً عن المُمانعة التّحريضيّة للوشيعةِ ذاتِها.

تحسينُ كفاءَةِ عملِ المُحوِّلة :

عندَما أستخدمُ شاحنُ الهاتفِ النّقال أشعرُ بارتفاعِ درجةِ حرارتِه في أثناءِ عمليّةِ الشّحن، ما سببُ ذلك؟ وما أهمُّ الحلولِ العمليّة لتحسينِ كفاءةِ عملِ المُحوّلة.

- يعود ارتفاعُ درجةِ حرارةِ الشّاحن (المُحوّلة) إلى:
  - ضياعِ جزءٍ من الطّاقةِ الكهربائيّة حرارياً بفعلِ جول.
  - تيّاراتِ فوكو التّحريضيّة.

ولتحسينِ كفاءةِ عملِ المُحوّلة تُصنعُ:

- أسلاكُ الوشيعةِ من النُّحاس ذي المُقاوَمةِ النّوعيّة الصّغيرة لتقليلِ الطّاقةِ الكهربائيّة الضّائعة بفعلِ جول.
- النّواةُ الحديديةِ من شرائحَ رقيقةٍ من الحديدِ اللّين معزولةً عن بعضِها البعضِ لتقليلِ أثرِ التيّاراتِ التّحريضيّة (تيّارات فوكو).

مردود نقلِ الطّاقةِ الكهربائيّة :

يُعطَى مردودُ النّقل بالعلاقة:

$$\eta = \frac{P - P'}{P}$$

حيثُ: P الاستطاعةُ المُتولّدة من منبع التيّارِ المُتناوبِ (المنوّبة).

P' الاستطاعةُ الضّائعة حرارياً في أسلاكِ النّقل بفعلِ جول.

$$\eta = 1 - \frac{P'}{P}$$

وباعتبارِ عاملِ الاستطاعة قريباً جداً من الواحِد فإنّ:

$$P = U_{eff} I_{eff}$$

U_{eff} التوتّر المُنتج بينَ طرفَي المنبع.

$$P' = R\, I_{eff}^2$$

حيثُ R مُقاوَمة أسلاكِ النّقل.

نعوّضُ في علاقةِ المردود: $\eta = 1 - \frac{R\, I_{eff}^2}{U_{eff}\, I_{eff}}$

نعوّضُ فنجدُ:

$$\eta = 1 - R\frac{I_{eff}}{U_{eff}}$$

ماذا ألاحِظُ من هذه العلاقة؟

لكي يقتربَ المردودُ من الواحد ينبغي تصغيرُ مُقاوَمةِ أسلاك النّقل R أو تكبيرُ U_{eff}، يتمُّ ذلكَ باستعمال مُحوّلاتٍ رافعةٍ للتوتّر عندَ مركزِ توليد التيّار ثمَّ خفضِه على مراحلَ عندَ الاستخدام.

المُحوِّلاتُ الخافِضةُ للتّوتُّر:

للمُحوِّلاتِ الخافضةِ للتّوتُّر استخداماتٌ عديدةٌ نذكرُ منها:

- شحنَ بعضِ الأجهزةِ الكهربائيّة.
- ألعابَ الأطفالِ، التي يخفَّضُ فيها التّوتُّرُ للأمان من $220\ V$ إلى $12\ V$ أو أقلّ.
- عملياتِ اللّحام الكهربائيّ،حيثُ نحتاجُ لتيّارٍ شدّتُه من مرتبةِ مئات الأمبيرات.
- أفرانَ الصَّهر.

تعلّمتُ

- **المُحوِّلةُ جهازٌ كهربائيٌّ يعتمدُ على حادثةِ التّحريضِ الكهرطيسيّ، يعملُ على تغييرِ التّوتُّرِ المُنتِج، والشِّدَّةُ المُنتِجةُ للتيّارِ المُتناوِبِ، دونَ أن يغيّرَ تقريباً من الاستطاعةِ المنقولة، أو من تواتُرِ التيّار، أو شكلِ اهتزازِ التيّار.**
- **نسمّي دارةَ الوشيعة الّتي تتلقّى التيّارَ المُتناوِب بالوشيعة الأوّلية، ويرمزُ لعددِ لفاتِها N_p ، وللتّوتُّر المُنتِجِ المُطبّقِ بينَ طرفَيها U_{eff_p}، وللشّدّة المُنتِجة المارّة فيها I_{eff_p} .**
- **نسمّي دارةَ الوشيعة التي نتلقّى منها التيّارَ المُتناوِب (التي تطبّق عليها الحمولة) بالثانويّة، ويرمَزُ لعددِ لفّاتها N_s ، وللتّوتُّرِ المُنتِج بينَ طرفَيها U_{eff_s}، وللشّدّةِ المُنتِجة المارّة فيها I_{eff_s} .**
- **تُسمَّى النّسبةُ $\frac{N_s}{N_p}$ نسبةَ التّحويل ويُرمَزُ لها بالرّمز μ :**

$$\mu = \frac{U_{eff_s}}{U_{eff_p}} = \frac{I_{eff_p}}{I_{eff_s}} = \frac{N_s}{N_p}$$

- **تكونُ المُحوِّلةُ رافعةً للتوتّر خافضةً للشّدّة إذا كانَت $\mu > 1$.**
- **تكونُ المُحوِّلةُ خافضةً للتوتّر رافعةً للشّدّة إذا كانّت $\mu < 1$.**
- **مردودُ المُحوِّلة هو نسبةُ الاستطاعةِ الكهربائيّةِ المُفيدةِ التي نحصلُ عليها من الدّارةِ الثّانويّة إلى الاستطاعةِ الكهربائيّة الدّاخِلة إلى الدّارة الأوليّة:**
- **لتحسينِ كفاءةِ عملِ المُحوِّلة:**
  - **تُصنَعُ أسلاكُ الوشيعةِ من النُّحاس ذي المُقاوَمة النوعيّة الصّغيرة لتقليل الطّاقة الكهربائيّة الضّائعة بفعلِ جول.**
  - **تُصنَع النّواةُ الحديديّةُ من شرائحَ رقيقةٍ من الحديدِ اللّين معزولةٍ عن بعضِها البعضِ لتقليلِ أثرِ التيّارات التّحريضيّة (تيّارات فوكو).**
  - **يتمُّ رفعُ التوتُّر المُنتِج في محطّةِ التّوليد بوساطة مُحوِّلاتٍ رافعةٍ للتوتُّر للتّقليلِ من الطّاقة الكهربائيّة الضّائعة بفعلِ جول، ممّا يحسّنُ من مردودِ النّقل.**

أختبر نفسي

أولاً: اخترِ الإجابةَ الصَّحيحة:

1. مُحوِّلةٌ كهربائيّةٌ نسبةُ تحويلِها $\mu = 3$ ، وقيمةُ الشّدَّة المُنتِجة في ثانويتِها $I_{eff_s} = 6\text{ A}$ ، فإنَّ الشّدَّةَ المُنتِجة في أوّليّتِها:

a. $I_{eff_p} = 18\text{ A}$ b. $I_{eff_p} = 2\text{ A}$ c. $I_{eff_p} = 9\text{ A}$ d. $I_{eff_p} = 3\text{ A}$

2. مُحوِّلةٌ كهربائيّة قيمةُ التّوتُّرِ المُنتِج بينَ طرفَي أوليّتِها $U_{eff_p} = 20\text{ V}$ و قيمةُ التوتُّر المُنتِج بينَ طرفَي ثانويّتِها $U_{eff_s} = 40\text{ V}$ فإنّ نسبةَ تحويلِها μ تُساوي:

a. 2   b. 0.5   c. 20   d. 60

ثانياً: أعطِ تفسيراً علميّاً لكلٍّ ممّا يأتي:

1. لا تُنقَلُ الطّاقةُ الكهربائيّة عبرَ المسافاتِ البعيدةِ بوساطة تيّار مُتواصِل؟
2. تُنقَلُ الطّاقةُ الكهربائيّة بتوتُّرٍ عدةَ آلافٍ من الفولتات ثمّ تُخفَّضُ إلى 220 V عندَ الاستهلاك؟
3. تُصنعُ النّواة في المُحوِّلة من صفائحَ أو قضبانٍ معزولةٍ من الحديدِ اللّيِّن؟

ثانياً: حُلَّ المسائلَ الآتيةَ:

المسالة الأولى:

يبلغُ عددُ لفّاتٍ أوليّة مُحوِّلة كهربائيّة $N_p = 125$ لفّة وعددُ لفّاتِ ثانويّتُها $N_s = 375$ لفّة، والتوتُّر اللّحظيّ بينَ طرفَي الثانويّة يُعطى بالمُعادلة $u_s = 120\sqrt{2}\cos 100\pi t\,(\text{V})$:

المطلوب:

1. احسبْ نسبةَ التّحويل، ثمّ بيّنْ إنْ كانت المحوّلةُ رافعةً للتوتّرِ أم خافضةً له.
2. احسبْ قيمةَ التّوتُّرِ المُنتِج بينَ طرفَي كل من الدّارة الثانويّة و الأوليّة.
3. نصلُ طرفَي الدّارة الثانويّة بمُقاومةٍ صرفٍ $R = 30\,\Omega$ ، احسبْ قيمةَ الشّدَّةِ المُنتِجةِ للتيّار المارّ في الدّارة الثانويّة.
4. نصلُ على التّفرُّع مع المُقاومة السّابقة وشيعةً مُهمَلةَ المُقاوَمة، فيمرُّ في فرع الوشيعة تيّارٌ شدّتُه المُنتِجة $I_{eff} = 3\text{ A}$ ، احسبْ رديّة الوشيعة، ثمَّ اكتب التابعَ الزّمني لشدّةِ التيّار المارّ في الوشيعة.
5. احسبْ قيمةَ الشّدَّة المُنتِجة الكليّة في الدّارة الثانويّة باستخدام إنشاء فرينل.
6. احسبْ قيمةَ الاستطاعةِ المُتوسِّطة المُستهلَكة في الدّارة، وعاملَ استطاعةِ الدّارة.

المسالة الثانية:

مولِّدُ تيّار كهربائيّ مُتناوِب جيبي، يُعطي تيّاراً وتوتُّراً فعالَين، قيمتُهما $I_{eff} = 10\text{ A}$ ، $U_{eff} = 400\text{ V}$، يتمُّ رفعُ هذا التّوتُّر بوساطة مُحوِّلة كهربائيّة مثاليّة إلى (4500 V) ، ويتمُّ نقلُه بعدَ ذلك مسافةً بعيدةً بوساطة خطِّ نقلٍ مُقاوَمتُه الكليّة $(30\,\Omega)$. **المطلوب:**

1. احسب النّسبةَ المئويةَ للاستطاعةِ الضّائعة في خطِّ النّقل في هذه الحالة.
2. احسب ما النّسبةُ المئوية للاستطاعةِ الضّائعة في خطِّ النّقلِ في حالِ عدمِ رفعِ التّوتُّر؟
3. إذا تمَّ تبديل خطّ النّقل بحيثُ تنخفضُ مُقاوَمتُه إلى $(5\,\Omega)$، احسبِ الاستطاعةَ الضّائعة في خطّ النّقل حينَ يمرّ فيه تيّارٌ مقدارُه (0.89 A) .

المسالة الثالثة:

يبلغ عددُ لفّاتٍ أوّليّة مُحوّلة 3750 لفّة، وعددُ لفّات ثانويّتِها 125 لفّة، نطبّقُ بينَ طرفَي الأولية توتّراً مُنتِجاً $U_{eff_p} = 3000\ \text{V}$، ونربطُ بينَ طرفَي الثانويّة دارةً تحوي على التّفرُّع:

- مُقاوَمةٌ صرفٌ، الاستطاعةُ المُستهلَكة فيها $P_{avg_1} = 1000\ \text{W}$
- وشيعةٌ لها مُقاوَمة أومية، الاستطاعة المُستهلَكة فيها $P_{avg_2} = 1000\ \text{W}$، يمرّ فيها تيّارٌ يتأخّرُ بالطّور عن التوتُّرِ المُطبّق بمقدارِ $\frac{\pi}{3}\ \text{rad}$

المطلوب حساب:

1. قيمةِ الشِّدَّة المُنتِجة للتيّار المارّ في المُقاوَمة.
2. قيمةِ الشِّدَّة المُنتِجة للتيّار المارّ في الوشيعة.
3. قيمةِ الشِّدَّة المُنتِجة للتيّار المارّ في ثانوية المُحوِّلة.
4. الشِّدَّةِ المُنتِجة للتيّار المار في الدَّارة الأولية للمُحوِّلة.

المسالة الرّابعةُ:

يبلغُ عددُ لفات وشيعة أوليّة مُحوِّلة 125 لفة، وفي ثانويتها 375 لفة. نطبقُ بينَ طرفَي الدَّارة الأوّلية فرقَ كمونٍ مُنتِج قيمتُه $10\ \text{V}$، ونصلُ طرفَي الثّانوية بمُقاوَمةٍ صرفٍ R مغموسةٍ في مسعرٍ يحوي $600\ \text{g}$ من الماء. مُعادلُه المائيّ مُهمَلٌ، فترتفعُ حرارتُه 2.14°C خلالَ دقيقةٍ واحدة.

المطلوب:

1. احسب قيمةِ المُقاوَمة R.
2. احسب الشّدتَينِ المُنتِجتَين في دارتَي المُحوِّلة باعتبارِ مردودِها يُساوي الواحد.
3. نصلُ على التفرُّع بينَ طرفَي المُقاوَمة وشيعةً مُهمَلة المُقاوَمة فتصبحُ الشِّدَّةُ المُنتِجة الكلّيّة في الدَّارة الثانويّة $5\ \text{A}$

المطلوب حساب:

a. الشِّدَّةِ المُنتِجةِ للتيّار في فرع الوشيعة باستخدام إنشاء فرينل، ثمّ اكتبْ تابعَ الشِّدَّة اللّحظيّة.

b. ذاتيّةِ الوشيعة.

c. الاستطاعةِ المُتوسّطةِ في جملة الفرعَين.

تفكير ناقد

عمليّاً يوجدُ حدٌّ أعلى للتوتّرات التي يمكنُ نقلُها عبرَ خطوطِ التّوتُّر، فما العواملُ التي تمنعُ من تجاوُزِ هذا الحدّ في خطوطِ النّقلِ البعيدِ للطّاقة الكهربائيّة؟

أبحث أكثر

يعتمدُ عملُ العديدِ من الأجهزةِ الكهربائيّةِ على المُحوِّلات، ابحثْ في مكتبةِ المدرسة، وفي الشّابكة عن أنواعِ المُحوِّلات واستخداماتِ كلٍّ منها.

الوحدة الثّالثة

الأمواجُ المُستقِرَّة



يُعتبَرُ جهازُ الأمواجِ فوق الصَّوتيّة التصادميّة من أحدثِ ما تمَّ التّوصُّل إليه في الطّبّ لعلاجِ الحصى الموجودة في الكلى بدون جراحة عن طريق تفتيتِها، وتحويلِها إلى قطعٍ صغيرةٍ يسهلُ طرحُها خارجَ الجسم.

1 الأمواجُ المُستقِرَّة العرضيّة



الأهداف:

* يتعرّفُ الأمواجَ المُستقِرَّة العرضيّة تجريبياً.
* يستنتجُ مُعادَلةَ مطالِ نقطةٍ في موجةٍ مُستقِرَّة عرضيّة.
* يفسّرُ تشكُّل عُقدِ وبطونِ الاهتزازِ في موجةٍ مُستقِرَّة عرضيّة.
* يستنتجُ العلاقةَ المُحدّدة لكلٍّ من أبعادِ مواضعِ عُقَدِ وبطونِ الاهتزاز.
* يتعرّفُ بعضَ تطبيقاتِ الأمواجِ المُستقِرَّة العرضيّة.
* يتعرّفُ قانونَ الأوتار المُهتَزّة.

الكلمات المفتاحية:

* بطنُ اهتزاز.
* عُقدَةُ اهتزاز.
* نهايةٌ مُقيّدة.
* نهاية طليقة.
* وتر مُهتَزّ.
* حبل مَرِن.
* تجاوُب.
* التّواتُر الأساسيّ.
* المدروجات.



يستطيعُ عازفُ العود ضبطَ أوتار عودِه باستخدامِ مفاتيح الضّبط الاثنَي عشرَ الموجودة في نهايةِ العود حيثُ يعملُ على شدّ هذه الأوتار، فيحدّد درجةَ قوّة النّغمات الصّادرة من العود، وفي أثناءِ العزفِ يستخدمُ الرّيشة للنّقرِ على الأوتار بالتّزامُن معَ الضّغط عليها، وكذلك الحالُ بالنّسبة لجميعِ الآلاتِ الوتريّة (كالغيتار والكمان والبزق والقانون).

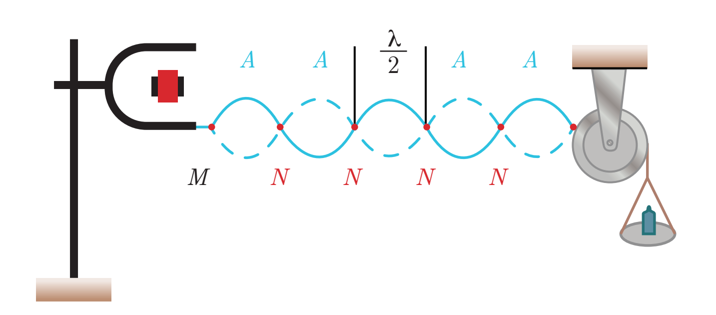
الدّراسةُ التّجريبيّة للأمواجِ المُستقِرّة العرضيّة في وتر:

أجرّب وأستنتج:

المواد اللازمة: رنّانةٌ كهربائيّةٌ ذاتُ قاعدةٍ تواتُرُها (100 Hz) – بكرة – حامل معدني – كفة (حاملة) أثقال – أوزان مُختلِفة – وتر مرِن – وحدة تغذية – أسلاك توصيل – مسطرة.

خطوات التجربة:

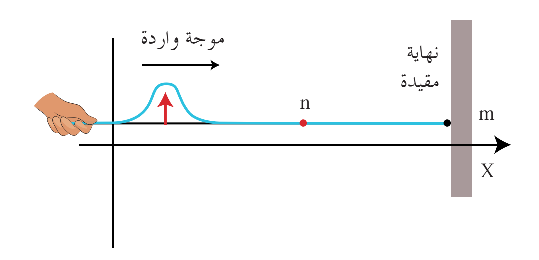
1. أثبّتُ البكرة على الحامل.
2. أثبّتُ طرف الوتر بإحدى شعبتَي الرّنّانة.
3. أمرّرُ الوتر على مَحزّ البكرة، وأعلّقُ بطرفه المُتدلّي كفَّة الأثقال.
4. أضعُ في الكفّة ثقلاً مُناسِباً بحيثُ يُشدّ الوتر بوضع أفقي.
5. أصلُ الرّنّانة بوساطةِ أسلاكِ التّوصيل بمِربطَي وحدةِ التّغذية الموصولة بمَأخَذ تيّارِ المدرسة (تيار المدينة).
6. أغلقُ مِفتاحَ تشغيلِ وحدةِ التّغذية لتعملَ الرّنّانة، ماذا ألاحظ؟
7. أكتبُ مُعادَلة مطالِ موجةٍ واردةٍ مُتقدّمةٍ جيبيّةٍ بالاتّجاه الموجب للمحوَر $\overrightarrow{x'x}$ عندما تصلُ إلى النّقطة n من وسط الانتشار والتي فاصلتُها $\overline{x}$ عن النّهاية المُقيّدة m في اللحظة t.
8. أكتبُ مُعادَلة مطال موجة منعكسة متقدمة جيبيّة بالاتجاه السالب للمحور $\overrightarrow{x'x}$ تصل إلى النّقطة n من وسط الانتشار والتي فاصلتها $\overline{x}$ عن النهاية المُقيّدة m في اللحظة t.
9. أحدّدُ أوجهَ الاختلافِ والتّشابه بينَ الموجة الواردة المُتقدّمة والموجة المُنعكسة المُتقدّمة؟
10. أحدّدُ ماذا يتشكّلُ نتيجة التّداخُل بينَ الموجة الجيبيّة الواردة معَ الموجة الجيبيّة المُنعكِسة؟
11. أحرّك حامِلَ البكرة وفقَ استقامةِ الوتر بحيثُ يتغيّرُ الطّول المُهتزّ منه، وأتوقّفُ عندَما تتكوّنُ المغازلُ بسعةٍ كبيرةٍ نسبيّاً.
12. أتساءلُ ما الأمواجُ المُستقِرّة العرضيّة؟



النتائج:

- **عندما تعمل الهزّازة (الرّنّانة) تتشكّلُ على طولِ الوترِ أمواجٌ عرضيّة جيبيّة مُتقدّمة، وتكون مُعادَلةُ مطالِ موجةٍ واردةٍ مُتقدّمةٍ جيبيّةٍ بالاتّجاه المُوجب للمُحوَر $\overrightarrow{x'x}$ عندما تصلُ إلى النّقطة n من وسط الانتشار والتي فاصلتُها $\overline{x}$ عن النّهاية المُقيّدة m في اللّحظة t مُعطَاة بالعلاقة**

$$\overline{y}_{1(t)} = Y_{max} \cos(wt - 2\pi \frac{\overline{x}}{\lambda}) \ldots\ldots\ldots (1)$$

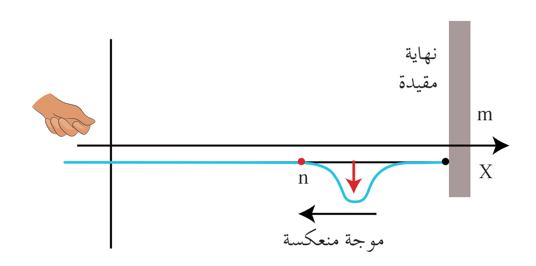


- وعندما تصلُ الأمواجُ الجيبيّة إلى النّهاية المُقيّدة m للوتر تنعكس، فتولّدُ الموجة المُنعكِسة المُتقدِّمة الجيبيّة بالاتّجاه السّالب للمحوَر $\overrightarrow{x'x}$ ، في النّقط n في اللّحظة t مطالاً يُعطَى بالعلاقة:

$$\overline{y}_{2(t)} = Y_{\max}\cos(wt - 2\pi\frac{x}{\lambda} + \varphi')\,........(2)$$

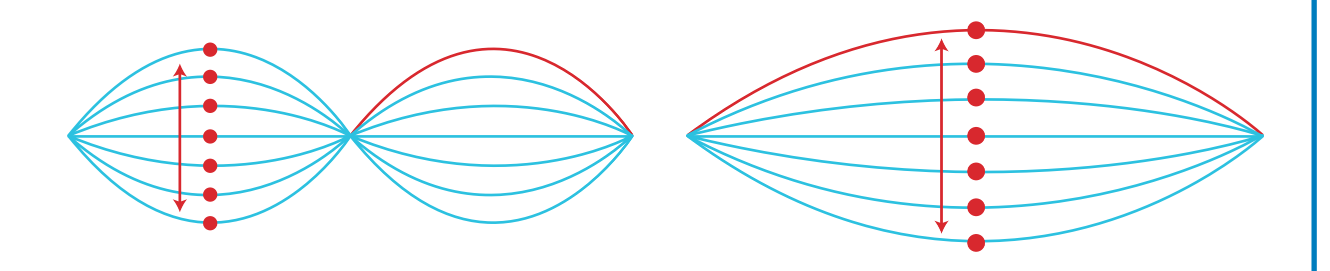
تتعرّضُ لفرقٍ في الطّور $\overline{\varphi'}$ بسببِ الانعكاس، وهو مُتأخّر في الطّور عن الموجةِ الوارِدة إلى n.

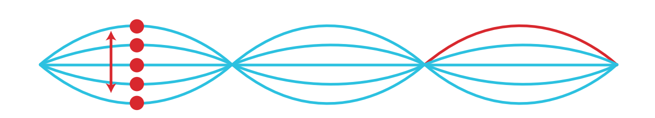
- تنعكسُ الإشارةَ عن النّهاية المُقيّدة أو عن النّهاية الطليقة بسرعة الانتشار نفسِها والتّواتُر نفسه وبالسّعة نفسها – عندَ إهمال الضّياع في الطّاقة – وينشأُ فرقٌ في الطّور $\overline{\varphi'}$ بينَ الموجةِ الواردة والموجة المُنعكِسة في الوسط (الوتر):



1. إذا كانَت النّهاية مُقيّدة فإنّ جهة الإشارة المُنعكِسة تعاكسُ جهةَ الإشارة الوارِدة؛ أي يتولّد بالانعكاس فرقُ طور $\overline{\varphi'} = \pi\ rad$ (تعاكُس بالطّور).
2. إذا كانَت النّهايةُ طليقةً، فإنَّ جهةَ الإشارة المُنعكِسة نفسها للإشارة الواردة؛ أي فرق الطور $\overline{\varphi'} = 0\ rad$ (توافُق بالطّور)

- تتشكّلُ الأمواجُ المُستقِرَّة العرضيّة نتيجةَ التّداخُل بينَ موجةٍ جيبيّةٍ واردةٍ معَ موجةٍ جيبيّةٍ مُنعكِسة على نهايةٍ مُقيّدة تعاكسُها بجهةِ الانتشار ولها التّواتُر نفسه والسّعة نفسها، وينتجُ عن تداخُلهما:
  - نقاطٌ تهتزُّ بسعةٍ عُظمَى تُسمَّى بطون الاهتزاز، يُرمَز لها بـ A ، حيثُ تلتقي فيها الأمواجُ الوارِدة والمُنعكِسة على توافُقٍ دائِم.
  - ونقاطٌ تنعدمُ فيها سعةُ الاهتزاز تُسمَّى عقدُ الاهتزاز، يُرمَزُ لها بـ N ، حيثُ تلتقي فيها الأمواجُ الوارِدة والمُنعكِسة على تعاكُسٍ دائِم.





- تكونُ المسافةُ الفاصلةُ بينَ كلِّ عقدتَين مُتتاليتَين $\frac{\lambda}{2}$ ،ويشكِّلُ الاهتزازُ ما بينَ عقدتَين مُتجاورتَين ما يشبهُ المغزل، وتهتزُّ جميعُ نقاطِ المغزل الواحد على توافُقٍ بالطّور فيما بينَها، بينَما تهتزُّ نقاطُ مغزلَين مُتجاورَين على تعاكُسٍ بالطّور فيما بينَها، وتبدو الموجةُ وكأنّها تهتزُّ مراوحةً في مكانِها، فتأخذُ شكلاً ثابتاً، لذلك سُمِّيَت بالأمواجِ المُستقِرَّة.
- الموجة المُستقِرَّة: هي نمطُ اهتزازٍ مُستقِرٍّ تحتوي على عُقدٍ بينَها بطونٌ تنشأُ نتيجةَ التّداخل بينَ موجتَين مُتساوِيتَين في التّواتُر والسّعة وتنتشرانِ في اتِّجاهَين مُتعاكِسَين.

الدّراسةُ النّظريّةُ للأمواجِ المُستقِرَّة العرضيّة:

يُمكِنُ استنتاجُ المطالِ المُحصَّل لاهتزاز النّقطة n التي تخضعُ لتأثير المَوجتَين الواردة والمُنعكِسة معاً بجمع المُعادَلتَين (1) معَ (2) فيُصبِحُ مطالُها المُحصَّلُ $\overline{y}_{n(t)}$:

$$\overline{y}_{n(t)} = \overline{y}_{1(t)} + \overline{y}_{2(t)}$$

$$\overline{y}_{n(t)} = Y_{\max}[\cos(wt - \frac{2\pi}{\lambda}\overline{x}) + \cos(wt + \frac{2\pi}{\lambda}\overline{x} + \overline{\varphi'})]$$

وبما أنّ:

$$\cos\alpha + \cos\beta = 2\cos\frac{\alpha-\beta}{2}\cos\frac{\alpha+\beta}{2}$$

نجدُ:

$$\overline{y}_{n(t)} = 2Y_{\max}\cos(\frac{2\pi}{\lambda}\overline{x} + \frac{\varphi'}{2})\cos(wt + \frac{\varphi'}{2})$$

الأمواجُ المُستقِرَّةُ العرضيّةُ المُنعكِسةُ على نهايةٍ مُقيّدة :

في الانعكاسِ على نهايةٍ مُقيّدةٍ يكونُ فرقُ الطّور $\varphi' = \pi\ rad$ نُعوّض:

$$\overline{y}_{n(t)} = 2Y_{\max}\cos\left(\frac{2\pi}{\lambda}\overline{x} + \frac{\pi}{2}\right)\cos\left(wt + \frac{\pi}{2}\right)$$

وبما أنّ: $\cos\left(\theta + \frac{\pi}{2}\right) = -\sin\theta$ تصبحُ العلاقة:

$$\overline{y}_{n(t)} = 2Y_{\max}\sin\frac{2\pi}{\lambda}\overline{x}\ \sin(wt)$$

$$\overline{y}_{n(t)} = Y_{\max/n}\sin(wt)$$

باعتبار $Y_{\max/n}$ سعةُ الموجةِ المُستقِرّة في النّقطة n:

$$Y_{\max/n} = 2Y_{\max}\left|\sin\frac{2\pi}{\lambda}\overline{x}\right|$$

عقدُ الاهتزاز N : نقاطُ سعةِ اهتزازِها معدومةٌ دوماً، تُحدَّدُ أبعادها $\overline{x}$ عن النّهايةِ المُقيّدة بالعلاقة:

$$Y_{\max/n} = 0 \Longrightarrow \sin\frac{2\pi}{\lambda}x = 0$$

$$\frac{2\pi}{\lambda}x = n\pi$$

$$x = n\frac{\lambda}{2}$$

حيثُ: $n = 0, 1, 2, 3.....$

أي أنّ النقـاطَ التي تبعدُ عن النّهاية المُقيّدة – التي يحصلُ عندَها انعكاسٌ وحيدٌ – أعدادٌ صحيحةٌ موجِبةٌ من نصفِ طولِ الموجة، يصلُها اهتزازٌ واردٌ واهتزازٌ مُنعكِسٌ على تعاكُسٍ دائِمٍ، فتكونُ ساكنةً دوماً، وتؤلّفُ عُقَدَ اهتزاز N ، وتكونُ المسافةُ بينَ كلِّ عقدتَين مُتتاليتَين $\frac{\lambda}{2}$.

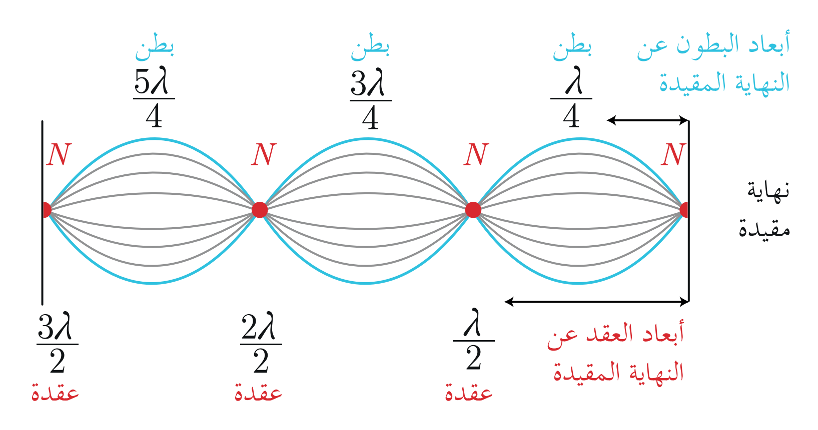
بطون الاهتزاز A : نقاطُ سعة اهتزازِها عُظمى دوماً، تُحدَّدُ أبعادُها $\overline{x}$ عن النّهاية المُقيّدة بالعلاقة:

$$Y_{\max/n} = 2Y_{\max} \Longrightarrow \sin\left|\frac{2\pi}{\lambda}\overline{x}\right| = 1$$

$$\frac{2\pi}{\lambda}x = (2n+1)\frac{\pi}{2}$$

$$x = (2n+1)\frac{\lambda}{4}$$

حيثُ: $n = 0, 1, 2, 3.....$



أيْ أنّ النقاطَ التي تبعدُ عن النّهاية المُقيّدة – التي يحصلُ عندَها انعكاسٌ وحيدٌ – أعدادٌ فرديّة من ربع طول الموجة، يصلُها اهتزازٌ واردٌ واهتزازٌ مُنعكِسٌ على توافُقٍ دائِم، فتكونُ سعةُ الاهتزاز فيها عُظمى دوماً، وتؤلِّفُ بطون اهتزاز A ، وتكونُ المسافةُ بينَ كلِّ بطنَين مُتتاليتَين $\frac{\lambda}{2}$ والمسافةُ بينَ كلّ عقدةٍ وبطنٍ يليه $\frac{\lambda}{4}$.

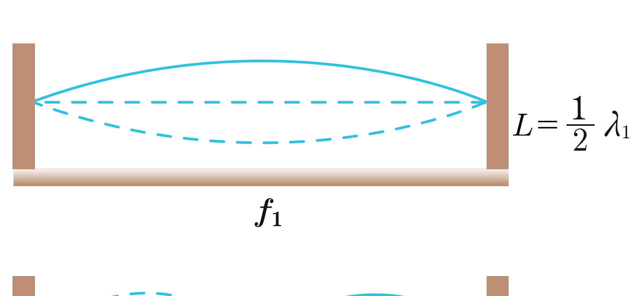
الاهتزازاتُ الحرَّة في وترٍ مرِن:

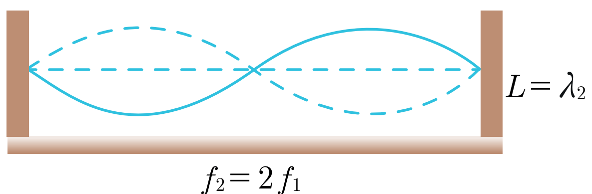
أجرّب وأستنتج:

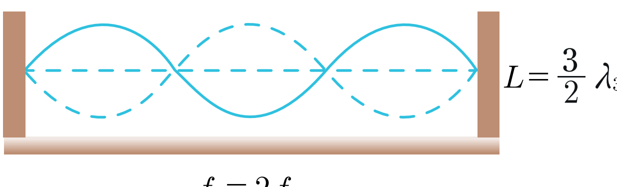
المواد اللازمة: وتر مَرِن (حبل مطاطي) – مِسماران – قطعة خشبيّة – مِطرقة – مِسطرة.

خطوات التجربة:

1. أثبّتُ مِسمارَين بوساطة المِطرقة على القطعة الخشبيّة بين نقطتَين البُعدُ بينَهما L.
2. أشدُّ الوترَ المرِنَ بينَ النّقطتَين الثّابتتَين.
3. أزيحُ (أنقرُ) الوترَ من مُنتصَفه وأتركُه يهتزُّ.
4. كم مِغزلاً يتشكَّلُ في الوتر؟
5. ماذا أسمِّي الصَّوت النّاتج؟
6. ما نوعُ الاهتزازات النّاتجة في الوتر؟
7. أنقرُ على الوتر من ربعِه وألمسُ مُنتصفَه برأسِ قلم، كم مغزلاً يتشكَّلُ في الوتر المُهتزّ؟
8. ماذا أفعلُ ليهتزَّ الوترُ بثلاثةِ مَغازل أو أربعة؟
9. ماذا أسمّي الأصوات النّاتجة في الحالات السّابقة؟







النتائج:

- **عندَما نُزيحُ الوترَ المرِنَ المشدود من مُنتصَفه ونتركُه، فإنَّه يهتزُّ اهتزازاتٍ حرَّةً بتواتُره الخاص f_1 مولِّداً موجةً مُستقِرَّةً نتيجةَ انعكاسِها بالنّقطتَين الثّابتتَين ويتشكَّلُ مِغزلاً واحداً، ونُسمّي الصَّوت النّاتج بالصَّوت الأساسيّ f_1.**
- **عندَما ننقرُ الوترَ المرِنَ المشدود من رُبعه وألمسُ منتصفَه برأسِ قلمٍ يهتزُّ الوترُ بمِغزلين.**
- **عندَما ننقرُ الوترَ المرِنَ المشدود من سُدسه وألمسُه من ثُلثه برأسِ قلمٍ يهتزُّ الوترُ بثلاثةِ مغازل.**
- **يُمكِنُ أن يهتزَّ الوترُ المرِنُ اهتزازاتٍ حرّةً بتواتُراتٍ خاصَّة مُختلِفة عندَما تتغيّرُ شروطُ التّجربة فيتشكَّلُ فيه مغزلان أو أكثر، وتُسمّى الأصواتُ النّاتجة بالمدروجات.**
- **الوترُ المرنُ المُثبّت من طرفيه يُمكِنُ أن يُؤلِّفَ هزّازةً ذاتَ تواتُراتٍ خاصّةٍ مُتعدِّدة، تُعطَى بالعلاقة: $f = n\,f_1$ حيثُ: عدد صحيح موجب $n = 1, 2, 3, 4.....$.**

- **نولِّدُ الاهتزازَ العرضيّ بإزاحةِ الوترِ عن وضعِ توازُنه ويكونُ ذلك:**
بالنّقر بالريشة (كالعود)، أو بالإصبع (كالقانون)، أو بالضّرب بمطرقةٍ (كالبيانو)، أو بالالتصاق بالقوس (كالكمان).

- **يُمكِنُ توليدُ الاهتزاز العرضي فيزيائيّاً باستخدام سلكٍ نحاسيّ مشدودٍ بقوّةِ شدٍّ مُناسِبة، بأنْ نمرّرَ فيه تيّاراً جيبيّاً مُتناوِباً مُناسِباً، ونُحيطُ الوترَ بمغناطيس نضوي خطوطُ حقلِه عموديّةٌ على السّلك وفي وضعٍ مُناسِبٍ – في المُنتصَف مثلاً – ليهتزَّ بالتّجاوُب مُكوِّناً مِغزلاً واحداً، ويكونُ تواتُرُ الوتر النُّحاسيّ مُساوِياً لتواتُرِ التيّارِ المُتناوِب.**

الاهتزازاتُ القسريّة في وترٍ مَرِن :

1. تجربةٌ ملد على نهايةٍ مُقيَّدة:

أجرّب وأستنتج:

المواد اللازمة: هزَّازة جيبيّة مُغذَّاة (رنّانة) سعتُها العظمى $\overline{Y}_{max}$ صغيرة، يُمكِنُ تغيير تواتُرها f – بكرة – حامِلٌ معدنيٌّ – كفّة (حاملة) أثقال – أوزانٌ مُختلِفة – وترٌ مرِنٌ طولُه L – وحدةٌ تغذية – أسلاكُ توصيل – مِسطرة.

خطوات التجربة:

1. أثبّتُ البكرةَ على الحامل..
2. أثبّتُ أحدَ طرفَي الوترِ بشعبةِ الهزّازة (النّقطة a).
3. أمرِّرُ الوترَ على مَحزّ البكرة (النّقطة b) لتشكِّلَ عقدةً ثابتةً، وأعلّقُ بطرفِه المُتدلّي كفّةَ الأثقال.
4. أضعُ في الكفَّة ثِقلاً مُناسِباً يشدُّ الوترَ بوضعٍ أفقيّ ويجعلُ تواتُرَ صوتِه الأساسيّ ثابتاً $f_1 = 10\,\text{Hz}$.
5. أزيدُ تواتُرَ الرّنّانة f بالتدريج بدءاً من القيمةِ صفر حتى القيمة $f < 10\,\text{Hz}$ ، ماذا ألاحظ؟
6. أجعلُ تواتُرَ الرّنّانة $f = 10\,\text{Hz}$ ، هل يتشكّلُ موجة مُستقِرّة واضحة بسعة عظمى $Y > Y_{max}$ ؟
7. أجعلُ تواتُرَ الرّنّانة $10 < f < 20\,\text{Hz}$، ماذا الاحظ؟
8. أجعلُ تواتُرَ الرّنّانة $f = 20\,\text{Hz}$ ، هل أشاهد مغزلين واضحين وبسعة اهتزاز عظمى؟
9. أتساءلُ كيفَ أحصلُ على أربعةِ مغازل في الوتر تهتزُّ بسعةِ اهتزازٍ عُظمى؟

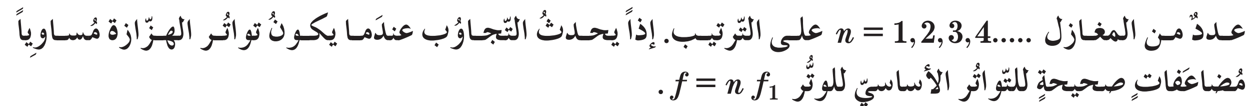
النتائج:

- **تتولَّدُ أمواجٌ في الوترِ مهما كانَت قيمةُ تواترِ الهزازة f .**
- **إذا كانَ تواتُرُ الهزّازة لا يساوي مُضاعَفاتٍ صحيحة للتّواتُر الأساسيّ للوتر $f \neq n\,f_1$ ، يحدثُ اهتزازات قسريّة في الوتر بسعة اهتزازٍ صغيرةٍ نسبيّاً من رتبةِ سعة اهتزازِ الهزّازة Y_{max} .**

- **إذا كانَ تواتُرُ الهزّازة يساوي إلى مُضاعَفاتٍ صحيحة للتّواتُر الأساسيّ للوتر $f = n\,f_1$ ، فإنَّ الوتَرَ يكونُ بحالةِ تجاوب (طنين)، وتكونُ سِعةُ الاهتزاز عندَ البطون أكبرَ بكثيرٍ من السّعة العُظمى للهزّازة، وفي هذه الحالة تتكوَّنُ الأمواج المُستقِرَّة.**

- **تتكوّنُ أمواجٌ مُستقِرَّةٌ عرضيّةٌ مُتجاوبة في n مِغزل على طول الوتر، فيها عقدةُ اهتزازٍ عندَ النّقطة b، وعقدة اهتزاز عملياً بجوار الهزّازة في النّقطة a، وتكونُ سعةُ اهتزازِ البطنِ عُظمى مُحقَّقة التّجاوُب عمليّاً. ويكونُ طولُ الوترِ عدداً صحيحاً من نصفِ طولِ الموجة $L = n\dfrac{\lambda}{2}$.**

- **يؤلّفُ الوترُ (في التّجربة السّابقة) مُجاوِباً مُتعدِّدَ التّواتُر، فيحدثُ التّجاوُب من أجل سلسلةٍ مُحدَّدةٍ تماماً من تواتُرات الهزّازة $f = 10, 20, 30, 40, ...\text{Hz}$ ، ويتكوّنُ عندَها عددٌ من المغازل $n = 1, 2, 3, 4.....$ على التّرتيب. إذاً يحدثُ التّجاوُب عندَما يكونُ تواتُر الهزّازة مُساوياً مُضاعَفاتٍ صحيحةٍ للتّواتُر الأساسيّ للوتَر $f = n\,f_1$.**



الدّراسةُ النّظريّة:

يتلقّى الوترُ اهتزازاتٍ قسريّةً فُرِضَت عليه من الهزّازة، فتتكوّنُ على طولِه أمواجٌ مُستقِرَّةٌ عرضيّةٌ مُتجاوِبة في مِغزل، ويحدثُ التّجاوب بينَ الهزّازة كجملةٍ مُحرِّضة، والوترِ كجملةٍ مُجاوبةٍ إذا تحقَّقَ الشّرط $f = n\,f_1$:
وبدراسةٍ مُماثِلةٍ لدراسةِ الأمواجِ المُستقِرَّة العرضيّة المُنعكسة على نهايةٍ مُقيّدةٍ نجدُ:

$$L = n\frac{\lambda}{2}$$

$$\lambda = \frac{v}{f}$$

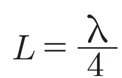
$$L = n\frac{v}{2f}$$

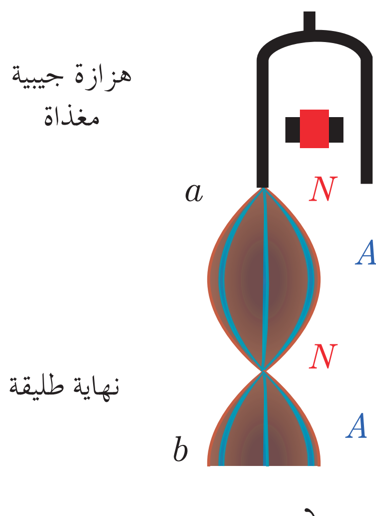
$$f = n\frac{v}{2L}$$

حيثُ: n عددٌ صحيحٌ موجِبٌ $n = 1, 2, 3, 4.....$

- يُسمَّى أوّل تواتُرٍ يولّد مِغزلاً واحداً: التّواتُر الأساسيّ.
  $n = 1 \Longrightarrow f_1 = \dfrac{v}{2L}$ المدروج الأوّل (الأساسيّ).
- وتُسمّى بقيّة التّواتُرات من أجل $n = 1, 2, 3, 4.....$ تواتُرات المدروجات
  $f = n\dfrac{v}{2L} = n\,f_1$

2. تجربةُ ملد على نهايةٍ طليقةٍ:





أجرّب وأستنتج:

المواد اللازمة: هـزّازةٌ جيبيّةٌ مغذّاة تواتُرها f – وتـرٌ مطاطـيٌّ (أو سـلكٌ فـولاذيٌّ) ab طولُـه L – وحـدةُ تغذيـةٍ – مِسطرة.

خطوات التجربة:

1. أثبّتُ أحدَ طرفَي الوترِ بشعبةِ الهزّازة (النّقطة a).
2. أتركُ الوتـرَ يتدلّى شاقولياً، ليكونَ طرفُه السّفلي b نهاية طليقة.
3. أغلقُ القاطِعة لتعملَ الهزّازةَ، ماذا تُلاحِظ؟
4. ماذا يتشكَّلُ في كلٍّ من النّقطة a، والنّقطة b عندَ حدوثِ التّجاوب؟

النتائج:

- **عندَما تعمل الهـزّازة تتولّـد أمـواج مُسـتقِرّة فـي حالـة التّجـاوب علـى طـول الوتـر.**
- **يتكوّن في النّقطة a عقدة اهتزاز، وفي النّقطة b بطن اهتزاز.**
- **عندَما يكونُ طولُ الوتر $L = \frac{\lambda}{4L}$ فإنَّه يُصدِرُ صوتاً أساسيّاً تواتُره: $f_1 = \frac{v}{4L}$.**
- **عندَما يكونُ طولُ الوتر $L = 3\frac{\lambda}{4}$ فإنَّه يُصدِرُ مدروجه الثّالث تواتُره: $f_1 = 3\frac{v}{4L}$.**
- **تُحدِّدُ المدروجات انطلاقاً من العلاقةِ المُحدَّدة لطولِ الوتر: $L = (2n-1)\frac{\lambda}{4} = (2n-1)\frac{v}{4f}$.**
- **تُحدِّدُ التّواتُرات الخاصّة من العلاقة: $f = (2n-1)\frac{v}{4L}$**

حيثُ: n عددٌ صحيحٌ موجبٌ ...... $n = 1,2,3,4$ ويُمثّل $(2n-1)$ مدروجَ الصّوت الصّادر.

تطبيقاتُ الأمواجِ المُستقرّة

قياسُ سرعةِ انتشارِ الاهتزازِ العرضيّ في وترٍ مَشدود:

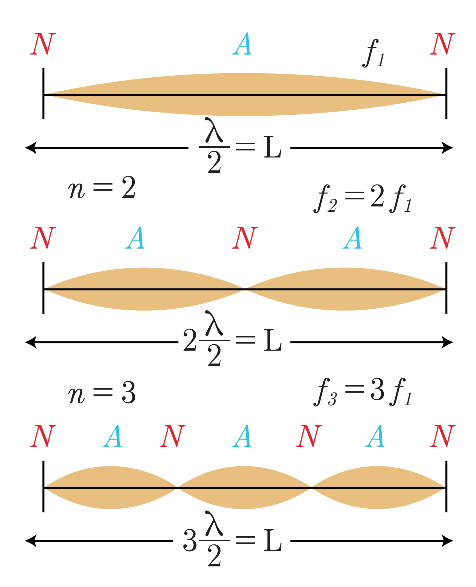
أجرّب وأستنتج:

المواد اللازمة: هـزّازةٌ جيبيّةٌ مُغـذّاةٌ سعتُها العُظمى $\overline{Y}_{max}$ صغيرة، يُمكِنُ تغييرُ تواتُرِها f – بكَرة – حامِلٌ معدنيّ – كفَّةٌ (حاملة) أثقال – أوزانٌ مُختلِفة – وترٌ مرنٌ طولُه L – وحدةُ تغذيةٍ – أسلاكُ توصيل – مِسطرة.

خطوات التجربة:

1. أثبّتُ البكرة على الحامل.
2. أثبّتُ أحد طرفيّ الوتر بشعبة الهزّازة (النّقطة a).
3. أمرّرُ الوتر على مَحزّ البكرة (النّقطة b) لتشكّل عقدة ثابتة، وأعلّق بطرفه المتدلّي كفة الأثقال.
4. أضعُ في الكفة ثقلاً مناسباً يشدُّ الوتر بوضع أفقي (قوّة شد الوتر F_T) ويجعل تواتُر صوته الأساسيّ $f_1 = 10\,\text{Hz}$.
5. عندَما تعملُ الهزّازة بتواتُر $f = f_1$، يتشكّلُ في الوتر مغزل واحد، أعلِّلُ ذلك؟
6. ماذا أُسمّي الصّوت النّاتجَ في هذهِ الحالة؟
7. أقيسُ المسافةَ بينَ عقدتَين مُتتاليتَين، ماذا تمثّلُ هذه القيمة؟
8. أحسبُ طولَ الموجة، وسرعة الانتشار؟
9. عندَما تعملُ الهزّازة بتواتُر $f = 2f_1$، يتشكّلُ في الوتر مغزلانِ، ماذا أُسمّي الصَّوت النَّاتج؟
10. أشكّل ثلاثة مغازل في الوتر بتغيير تواتُر الرّنّانة ليُصبحَ $f = 3f_1$ وأُسمّي الصَّوت النّاتج.
11. أحافظُ على التّواتُر السّابق وأضيفُ أثقالاً جديدةً إلى كفَّة الأثقالِ بحيثُ يكونُ الثّقلُ الكلّيّ المُعلّق بطرف الوتر أربعةَ أمثال ما كانَ عليه، هل يزدادُ عددُ المغازل أم ينقصُ؟
12. أحافظُ على التّواتُر السّابق، وأحافظُ على الأثقالِ السّابقة (قوّة شدّ الوتر) وأُنقصُ طولَ الوترِ، هل يزدادُ عددُ المغازل أم ينقصُ؟

النتائج:



- **الوترُ المشدود: هو جسمٌ صلبٌ مرنٌ أسطوانيّ، طولُه كبيرٌ بالنّسبة لنصف قطرِ مقطعُه، مشدودٌ بينَ نقطتَين ثابتتَين تؤلّفان عقدتَي اهتزازٍ في جملةِ أمواجٍ مُستقِرّةٍ عرضيّة.**
- **يحدثُ التّجاوُب عندَما يكونُ تواتُر الهزّازة المعلوم f:**
  - **مُساوياً التّواتُر الأساسيّ للوتر المُهتزّ f_1 ويُسمَّى الصَّوت النّاتج بـ الصَّوت الأساسيّ ويكونُ طولَ الوتر المُهتزّ مُساوياً $L = \frac{\lambda}{2}$، وتُحسَبُ سرعةُ الانتشار من العلاقة $v = \lambda f$**
  - **أو مُساوياً مُضاعفاتٍ صحيحةً منه $f = n\,f_1$ وتُسمَّى الأصواتُ النّاتجة بـ المدروجات.**
- **يزدادُ عددُ المغازل عندَما يزدادُ طولُ الوترِ أو عندَما يزدادُ تواتُر الاهتزاز، وينقصُ بزيادةِ قوّة الشّد.**
- **تدلّ نتائج التّجارب المُختلفة على أنَّ سرعةَ انتشارِ الاهتزازِ العرضيّ في الوتر المُهتزّ تتناسبُ:**

1. **طرداً معَ الجذرِ التّربيعيّ لقوّة الشّدّ F_T.**

2. **عكساً مع الجذر التّربيعيّ لكتلة وحدةِ الطّول من الوتر المُتجانِس، وتُسمَّى الكتلة الخطيّة μ .**
أي:

$$v = \text{const}\sqrt{\frac{F_T}{\mu}}$$

إنَّ هذا الثّابت في الجملة الدوليّة يُساوي الواحد ($\text{const} = 1$).

$$v = \sqrt{\frac{F_T}{\mu}}$$

حيثُ إنَّ الكتلة الخطيّة للوتر: $\mu = \frac{m(\text{kg})}{L(\text{m})}$ **وواحدتها في الجملة** kg.m^{-1}

- **نعوّضُ عن سرعةِ انتشار الاهتزاز في الوتر، وعن الكتلة الخطيّةِ للوتر في علاقةِ تواتُر الوتر المشدود فنجدُ:**

$$f = n\frac{v}{2L} = \frac{n}{2L}\sqrt{\frac{F_T}{\mu}} = \frac{n}{2L}\sqrt{\frac{F_T L}{m}}$$

f **تواتُر الصَّوت البسيط الصّادر عن الوتر، ويُقدَّرُ بالهرتز Hz .**
F_T **قوّةُ شدِّ الوتر، وتُقدَّرُ بالنّيوتن N .**
L طولُ الوتر، وتُقدَّرُ بالمتر m .
μ **الكتلةُ الخطيّة للوتر، وتُقدَّرُ بـ** kg.m^{-1} **.**
n **عددٌ صحيحٌ يُمثِّلُ عددَ المغازل المُتكوِّنة في الوتر أو رتبة الصَّوت الصّادر عنه (المدروج).**

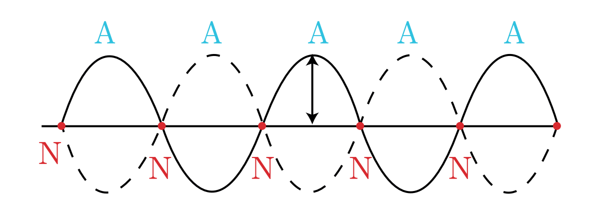
- **إذا فرضْنا أنَّ وتراً طولُه L ، كتلتُه m ، ومساحةُ مقطعِه s وكتلتُه الحجميّة ρ ؛ فتكونُ كتلتُه الخطيّة μ :**

L
S

$$\mu = \rho\pi r^2$$

تطبيق:

وترٌ مشدودٌ، طولُه $L = 1\,\text{m}$ ، كتلتُه $m = 6\,\text{g}$ مشدودٌ بقوّة F_T يهتزُّ بالتّجاوُب مع رنّانة تواتُرها $f = 50\,\text{Hz}$ مُكوِّناً خمسةَ مَغازِل. المطلوب حسابُ:



1. الكتلة الخطيّة للوتر.
2. قوّة شدّ الوتر F_T المُطبّقة على الوتر.
3. سرعة انتشارِ الاهتزاز العرضيّ على طول الوتر.
4. عدد أطوالِ الموجة المُتكوِّنة.

الحلّ:

1. $\mu = \frac{m}{L} = \frac{6\times10^{-3}}{1} = 6\times10^{-3}\ \text{kg m}^{-1}$

2. عندما يهتزُّ الوتر بالتّجاوب يكونُ: تواتُر التيّار يساوي تواتُر السّلك

$$f = \frac{n}{2L}\sqrt{\frac{F_T}{\mu}}$$

$$F_T = \frac{4L^2 f^2 \mu}{k^2} = \frac{4\times(1)^2\times(50)^2\times6\times10^{-3}}{(5)^2}$$

$$F_T = 2.4\ \text{N}$$

3. $v = \sqrt{\frac{F_T}{\mu}} = \sqrt{\frac{2.4}{6\times10^{-3}}} = 20\ \text{m.s}^{-1}$

4. عدد أطوال الموجة $= \frac{L}{\lambda} = \frac{L\,f}{v} = \frac{1\times50}{20} = 2.5$

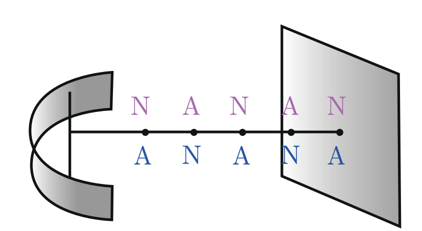
الأمواجُ الكهرطيسيّة المُستقِرَّة :



نستخدمُ في منازلِنا هوائيٍّ مُستقبِلٍ لالتقاطِ البثِّ التّلفزيونيّ، أو صحن الإشارة اللّاقط للقنوات الفضائيّة.

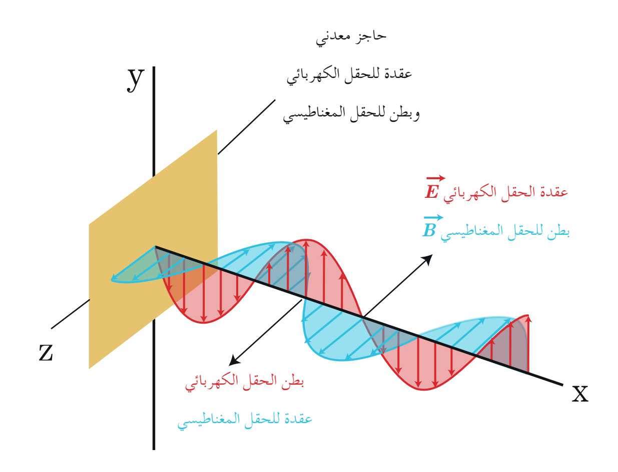
نشاط:

1. كيفَ تتولَّدُ الأمواجُ الكهرطيسيّة المُستوية؟
2. ممَّا تتألَّفُ الموجةُ الكهرطيسيّة المُستوية؟
3. ماذا يحدثُ عندَ وضعِ حاجزٍ معدنيٍّ ناقلٍ مستويٍّ يبعدُ عن الهوائيّ المُرسل بُعداً مُناسِباً وعموديّاً على مَنحى الانتشار.
4. ماذا يحدثُ للموجة الكهرطيسيّة الوارِدة عندَما تُلاقي الحاجز؟
5. ماذا ينتجُ عن تداخُلِ الموجة الكهرطيسيّة الوارِدة معَ الموجة الكهرطيسيّة المُنعكِسة؟
6. كيفَ نكشفُ عن الحقلِ الكهربائيّ؟
7. كيفَ نكشفُ عن الحقلِ المغناطيسيّ؟
8. ماذا يحصلُ عندَ نقلِ كلا الكاشفَين بينَ الهوائيّ المُرسِل والحاجز؟



تشكل الأمواج المستقرة الكهرطيسية

النتائج:

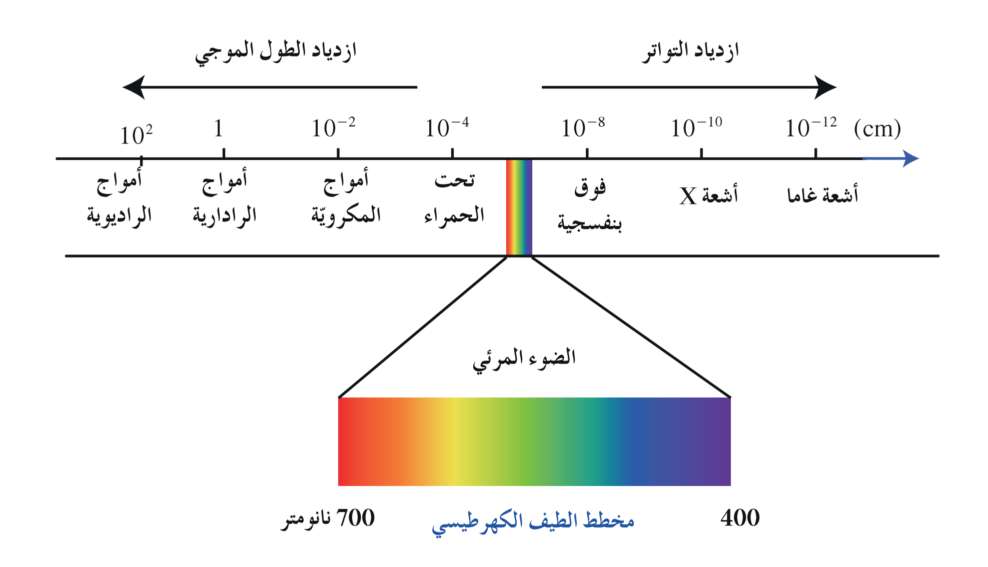


- تتولَّدُ الأمواجُ الكهرطيسيّة المُستوية بوساطة هوائيّ مُرسل يُوضَعُ في مِحرَقٍ عاكسٍ بشكلِ قطعٍ مُكافِئٍ دورانيّ.
- تتألّفُ الموجةُ الكهرطيسيّة المُستوية من حقلَين مُتعامِدَين: حقلٍ كهربائيّ $\vec{E}$ وحقلٍ مغناطيسي $\vec{B}$.
- عندَما تُلاقي الأمواج الكهرطيسيّة الواردة حاجزاً معدنيّاً ناقِلاً مُستوياً عموديّاً على مَنحى الانتشار، ويبعدُ عن الهوائيّ المُرسِلِ بُعداً مُناسِباً، تنعكسُ عنه وتتداخلُ الأمواجُ الكهرطيسيّةُ الواردة معَ الأمواج الكهرطيسيّة المُنعكِسة لتُؤلِّفَ أمواجاً كهرطيسيّة مُستقِرَّة.
- نكشفُ عن الحقل الكهربائيّ $\vec{E}$ بوساطة هوائيّ مُستقبِل نضعُه موازياً للهوائيّ المُرسِل، يُمكِنُ تغيير طولِه، وعندَ وصلِ طرفَي الهوائيّ المُستقبِل براسمِ اهتزازٍ مَهبَطيّ، وتغيير طولِ الهوائيّ حتّى يرتسمُ على شاشةِ راسمِ الاهتزازِ خطٌّ بيانيٌّ بسعةٍ عُظمى فيكونُ أصغرُ طولٍ للهوائيّ المُستقبِل مُساوياً $\frac{\lambda}{2}$.
- نكشفُ عن الحقل المغناطيسيّ $\vec{B}$ بوساطة حلقةٍ نحاسيّةٍ عموديّةٍ على $\vec{B}$ فيولِّد فيها توتُّراً نتيجةَ تغيُّر التدفُّق المغناطيسيّ الذي يجتازُها.
- عندَما ننقلُ كُلّاً من الكاشفَين بين الهوائيّ المُرسِل والحاجز نجدُ الآتي:

1. توالي مُستوَياتٍ N يدلُّ فيها الكاشِفُ على دلالةٍ صُغرى ومستوياتٍ للبطون A يدلُّ فيها الكاشف على دلالةٍ عُظمى مُتساوية الأبعادِ عن بعضِها، قيمتُها $\frac{\lambda}{2}$ بينَ كلّ مستويَين لهما الحالة الاهتزازيّة نفسها.
2. مستوياتُ عقدِ الحقل الكهربائيّ هي مستوياتُ بطونٍ للحقل المغناطيسيّ وبالعكس.
3. الحاجزُ النّاقل المُستوي عقدةٌ للحقل الكهربائي وبطنٌ للحقل المغناطيسيّ.

- تتمتّعُ هذه الأمواج بطيفٍ واسعٍ من التواتُرات يشملُ الأمواجَ الطويلة مثلَ الأمواج الرّاديويّة والرّاداريّة والمكرويّة إلى الأمواج القصيرة مثلَ الضّوء المرئيّ والأشعة السّينيّة وأشعة غاما والأشعة الكونيّة.

يُمثِّلُ الشَّكلُ الآتي مُخطّطاً يُعرَف بالطَّيفِ الكهرطيسيّ:



مخطط الطيف الكهرطيسي



2 الأمواجُ المُستقِرَّة الطوليّة



عندَ عبورِكَ نفقاً طويلاً وضيِّقاً للسيّارات فإنّكَ تسمعُ ضوضاء وصخباً شديدَين تصدُرانِ عن عبورِ السّيّارات والمَركَبات لهذا النَّفق.

الأهداف:

* يَتعرّفُ الأمواجَ المُستقِرَّة الطوليّة تجريبيّاً.
* يُجري تجاربَ توضِّحُ الأمواجَ المُستقِرَّة الطوليّة.
* يَتعرّفُ بعضَ تطبيقات الأمواج المُستقِرَّة الطوليّة.
* يَتعرّف المزاميرَ (الأعمدة الهوائيّة) وأنواعها.
* يَتعرّفُ قانونَي المزامير.

الكلمات المفتاحية:

* انضغاط.
* تخلخُل.
* نابِض.
* المِزمار.
* مِزمار مُتشابِه الطّرفَين.
* مِزمار مُختلِف الطّرفَين.

الأمواج المُستقِرّة الطوليّة في نابض :

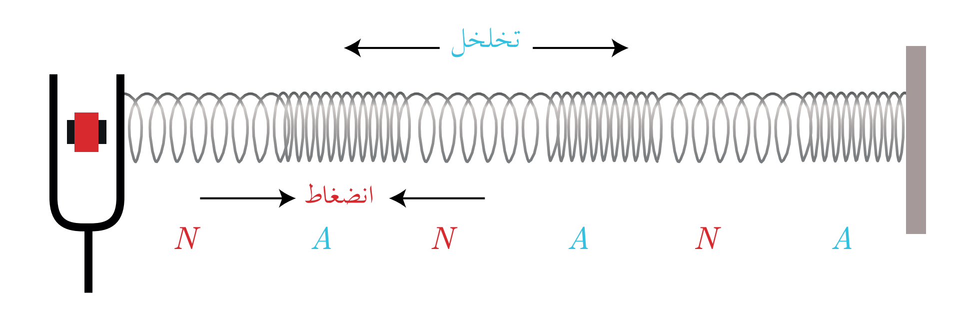
أجرّب وأستنتج:

الموادّ اللازمة: رنّانةٌ كهربائيّةٌ ذاتُ قاعِدة– نابضٌ مرنٌ مُناسِب (ثابِت صلابته صغير)..

خطوات التجربة:

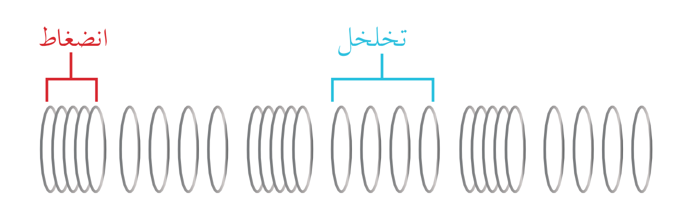
1. أثبّتُ أحدَ طرفَي النّابض بنقطةٍ ثابتة.
2. أثبّتُ الطّرفَ الآخرَ من النّابض بشعبةٍ هزّازةٍ جيبيّة مُغذّاة (رنّانة كهربائيّة).
3. أشدُّ النّابِض أفقيّاً بقوّةِ شدٍّ مُناسِبة.
4. أغلقُ القاطِعةَ لِتعملَ الرّنّانة الكهربائيّة.
5. ما نوعُ الأمواجِ الواردة من المَنبع (الرّنّانة) والمُنتشِرة في النّابض؟
6. ماذا يحدثُ للمَوجة الطّوليّة الوارِدة عندَ وصولِها إلى النّقطة الثّابتة؟
7. كيفَ تبدو لك حلقاتُ النّابض؟
8. ماذا أُسمّي حلقاتِ النّابض السّاكِنة؟ وكيفَ تتكوَّنُ؟
9. وماذا أُسمّي حلقاتِ النّابِض الأوسع اهتزازاً؟ وكيفَ تتكوّن؟
10. كيفَ تنشأُ الأمواجُ المُستقِرّة الطّوليّة في النّابِض؟

النتائج:



- عندَما تعملُ الهزّازة تنتشرُ الأمواجُ الطّوليّة الواردة من المَنبع (الرّنّانة) وفقَ استقامة النّابض لتصلَ إلى النّهاية الثّابتة وتنعكسُ عنها، فتتداخلُ الأمواجُ الطوليّة المُنعكِسة معَ الأمواجِ الطّوليّة الواردة، ونشاهدُ على طول النّابض حلقاتٍ تبدو ساكنةً وحلقاتٍ أخرى تهتزُّ بسعاتٍ مُتفاوِتة فلا تتّضحُ معالمُها.
- نُسمّي الحلقاتِ الساكنةَ عقدَ اهتزاز Nodes حيثُ تكونُ سعةُ الاهتزازمعدومةً، وتصلُها الموجةُ الطّوليّة الواردة و الموجة الطّوليّة المُنعكِسة على تعاكُسٍ دائم، بينَما الحلقاتُ الأوسعُ اهتزازاً تُسمَّى بطون الاهتزاز Antinodes حيثُ تكونُ سعة الاهتزازعُظمى، وتصلُها الموجةُ الطوليّة الواردة و الموجة الطوليّة المُنعكِسة على توافُقٍ دائِم.
- نّسمّي الموجة النّاتِجة عن تداخُلِ الأمواجِ الطوليّة الوارِدة والأمواج الطوليّة المُنعكِسة: الأمواج المُستقِرّة الطوليّة.

الدّراسةُ النّظريّة:



- إنّ بطنَ الاهتزاز والحلقات المُجاوِرة له ترافقُ دوماً في الاهتزاز إلى إحدى الجهتَين– تكادُ تبدو المسافات بينَها ثابتةً– فلا نلاحظُ تضاغُطاً بينَ حلقاتِ النّابِض أو تخلخُلاً فيها أي يبقى الضَّغطُ ثابتاً، أي أنّ بطونَ الاهتزازِ هي عقدٌ للضَّغط.
- إنّ عقدَ الاهتزاز تبقى في مكانِها–تتحرَّكُ الحلقاتُ المُجاوِرة على الجانبَين في جهتَين مُتعاكِستَين دوماً– فتتقارَبُ خلالَ نصفِ دورٍ ثمَّ تتباعدُ خلالَ نصفِ الدَّورِ الآخر، وبذلك نلاحظُ تضاغُطاً يليه تخلخلٌ، أي أنَّ عقدَ الاهتزازِ الَّتي عندَها تغيّر في الضَّغطِ هي بطونٌ للضَّغط.
- المسافةُ بينَ عقدَتي اهتزازٍ مُتتالِيتَين أو بطنَي اهتزازٍ مُتتاليَين يساوي نصفَ طولِ الموجة $\frac{\lambda}{2}$، والمسافة بينَ عقدةِ اهتزازٍ وبطنِ اهتزازٍ تالٍ يساوي ربعَ طولِ الموجة $\frac{\lambda}{4}$.

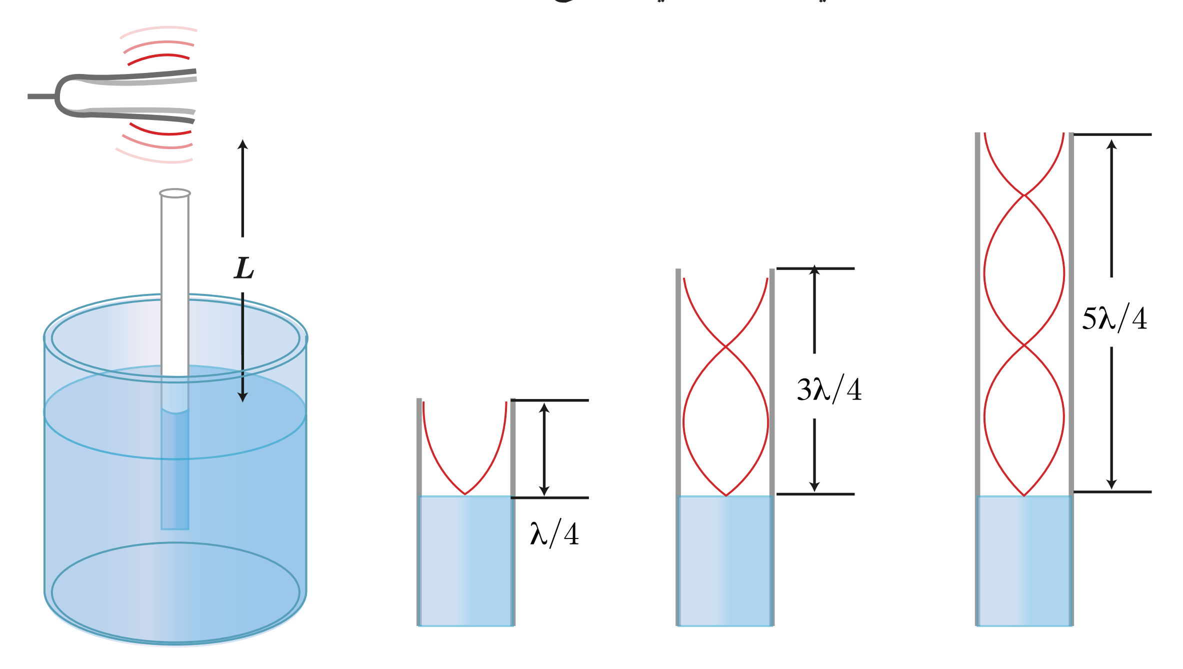
الأعمدةُ والمزاميرُ:

الأعمدةُ الهوائيّةُ المفتوحةُ والمُغلَقة:

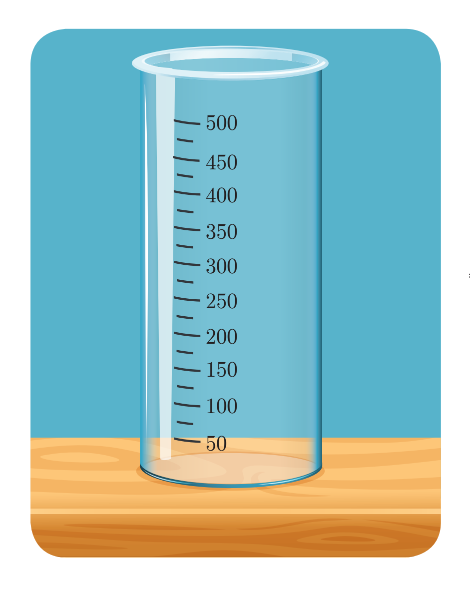
- إذا حاولتُ التَّحدُّث في علبةٍ معدنيّةٍ كبيرةٍ وفارغةٍ فإنَّه يصدرُ صوتاً عالياً وشديداً.
- النَّفخُ بشكلٍ موازٍ بالقربِ من فوَّهة قارورة زجاجيّة فارغة يصدرُ عنها صوتاً عالياً وشديداً.

أجرّب وأستنتج:

المواد اللازمة: رنّانة تواتُرها معلوم $f = 512\,\text{Hz}$ – مِطرقةٌ مطاطيّة خاصَّة بالرّنّانة – أنبوبٌ زجاجيٌّ (أو بلاستيكيّ) مفتوحُ الطّرفَين طولُه 40 cm وقطرُه 3.5 cm – وعاءٌ مملوءٌ بماءٍ ملوَّنٍ ساكن – أنبوبٌ آخرُ زجاجيٌّ (أو بلاستيكيّ) مفتوحُ الطّرفَين طولُه 30 cm، وقطرُه 2.5 cm – مسطَرة.



خطوات التجربة:



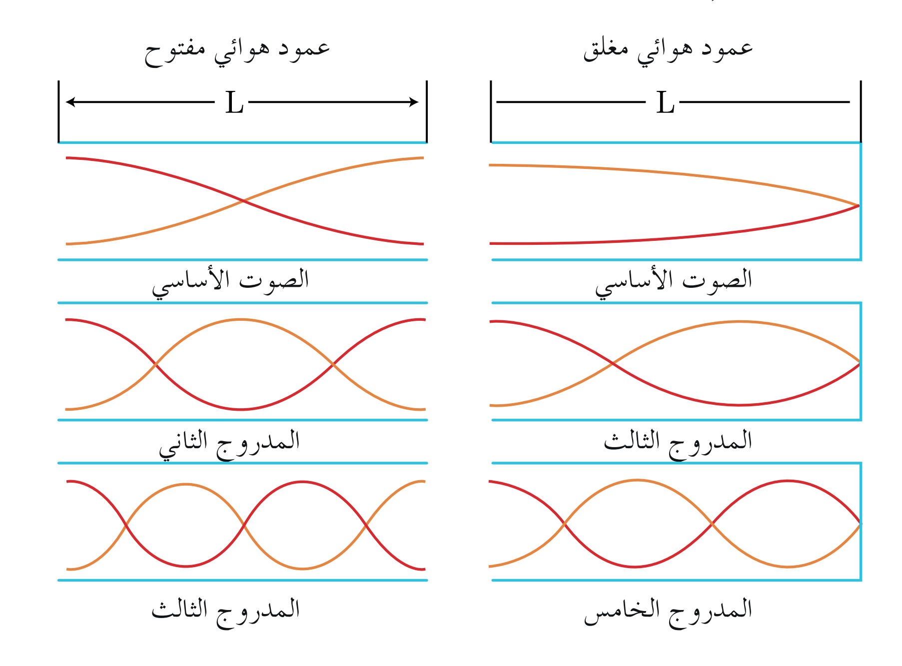
1. أضعُ الأنبوبَ الزّجاجيّ داخلَ الوعاء المملوء بالماء السّاكن.
2. أمسكُ الرّنّانة من قاعدتها ثمَّ أضربُ بالمطرقة على إحدى شعبتَيها.
3. أقرّبُ الرّنّانة المُهتَزّة لتصبحَ فوقَ طرفِ الأنبوبِ الزّجاجيّ المفتوح مُباشَرة.
4. أرفعُ الأنبوبَ والرّنّانة ببطءٍ نحوَ الأعلى حتّى أسمعُ صوتاً شديداً عالياً.
5. أحرّكُ الأنبوبَ الزّجاجيّ إلى الأعلى أو الأسفل قليلاً لتحديد نقطة الرّنين الأولى (الصّوت الشّديد) بدقّة.
6. أقس المسافة من سطح الماء (نقطة الرنين) إلى أعلى الأنبوب الزجاجي.
7. ماذا تُمثّل هذه القيمة المقيسة.
8. أضربُ بالمطرقة على الرّنّانة مرّةً أخرى وأقرّبُها من طرفِ الأنبوب المفتوح، وأستمرُّ في رفع الأنبوب الزّجاجيّ نحوَ الأعلى ببطءٍ حتّى أسمعُ صوتاً شديداً عالياً مرّة أخرى.
9. أحدّدُ نقطة الرّنين الثّانية على الأنبوبِ بدقّةٍ، وأقيسُ المسافةَ من هذه النّقطة إلى أعلى الأنبوب الزّجاجيّ.
10. ماذا تُمثّل هذه القيمة المقيسة.
11. أخرجُ الأنبوبَ الزّجاجيّ (البلاستيكيّ) السّابق من الحوض، وأُدخِلُ فيه الأنبوب البلاستيكيّ الآخر ذي القطر الأقلّ (ليُشكّلا أنبوبة تلسكوبيّة يُمكنُك تغيير طولها) فأحصلُ على عمودٍ هوائيّ مفتوحِ الطّرفَين.
12. أقرّبُ الرّنّانة المُهتَزّة من أحدِ طرَفي العمود الهوائيّ المفتوح وأزيدُ من طوله ببطءٍ وذلك بإخراجِ الأنبوبِ الآخرِ رويداً رويداً حتّى أسمعُ صوتاً شديداً عالياً.
13. أقيسُ طولَ العمودِ الهوائيّ النّاتج، ماذا تُمثّل هذه القيمة المقيسة.
14. عندَ استخدام رنّانة أخرى مُختلِفة تواترُها $f' = 320\text{ Hz}$ ، هل تتغيّرُ القيم المقيسة السّابقة؟

ملاحظة: يُمكِنُ إجراء التّجربة باستخدامِ أنبوبٍ أسطوانيٍّ زجاجيٍّ (أو بلاستيكيّ) مُغلَق من أحدِ طرفَيه مع رنّانة مُهتَزّة حيثُ يُمكِنُ تغيير طولِه بإضافةِ الماء إليه تدريجيّاً حتّى يصدرُ الصّوت الشّديد.

النتائج:

- **يحدثُ تضخيمٌ وتقويةٌ للصّوتِ في أثناءِ انتقالِه عبرَ الأنابيبِ نتيجةَ حدوثِ انعكاساتٍ مُتكرّرة داخلَه، فيتولّدُ عنها أمواجٌ مُستقِرّةٌ ذاتُ نغماتٍ صوتيّةٍ واضحةٍ، وتزدادُ وضوحاً في الأنابيبِ الضيّقة.**
- **تتولّدُ أمواجٌ مُستقِرّةٌ طوليّة في هواءِ الأنبوبِ ونسمعُ صوتاً شديداً عالياً عندَما يكونُ تواترُ الرّنّانة يساوي تواتُر الهواء في عمود الأنبوب.**
- **تتكوَّنُ عقدةُ اهتزازٍ عندَ سطح الماء السّاكن لأنّه يمنعُ الحركة الطّوليّة للهواء (حيثُ يُعتبَر نهاية مُغلَقة)، وبطن اهتزاز تقريباً عندَ فوّهةِ الأنبوبِ (نهاية مفتوحة).**
- **طولُ أقصرِ عمودٍ هوائيّ فوقَ سطحِ الماءِ يحدثُ عندَه التّجاوب (الرّنين الأوّل) يُساوي $L_1 = \frac{\lambda}{4}$.**

- **طولُ العمود الهوائيّ فوقَ سطحِ الماءِ يحدثُ عندَه التّجاوب (الرّنين الثّاني) يُساوي $L_2 = \frac{3\lambda}{4}$.**



- **المسافةُ بينَ مُستويَي الماءِ المُوافقَين للصّوتَين الشّديدَين المُتتاليَين $\Delta L = \frac{\lambda}{2}$.**
- **في العمودِ الهوائيِّ مفتوحُ الطَّرفَين يتشكّلُ عندَ كلِّ طرفٍ مفتوح بطنٍ للاهتزازِ وفي مُنتصَفِ العمود عقدةٌ للاهتزاز فيكونُ طولُ العمودِ الهوائيّ في هذهِ الحالة $L = \frac{\lambda}{2}$.**
- **عندَ استخدام رنّانة تواتُرها كبيرٌ نحصلُ على عمودٍ هوائيّ طولُه قصيرٌ.**
- **يتناسبُ تواتُر الرّنّانة المُستخدَم عكساً معَ طولِ العمود الهوائي.**
- **تتشابهُ الأعمدةُ الهوائيّة المفتوحة بأنفاقِ عبورِ السيّارات.**
- **تُعطى سرعةُ الصَّوت في هواءِ الأنبوب بالعلاقة: $v = \lambda f$.**
- **في العمودِ الهوائيّ المُغلَق لا يُمكِنُ الحصول على المدروجات ذاتِ العددِ الزوجيّ.**
- **تعملُ القناةُ السّمعيّة في أذنِ الإنسان الّتي تنتهي بغشاءِ الطّبل كأنّها عمودٌ هوائيٌّ مُغلَقٌ في حالةِ رنينٍ(تجاوب) يؤدّي إلى زيادة حساسيّة الأذن للتّواتُرات من 2000 Hz إلى 5000 Hz في حين يمتدُّ المدى الكامل لتواتُرات الصَّوت التي تسمعُها الأذنُ البشريّة من 20 Hz إلى 20000 Hz .**

تطبيق:

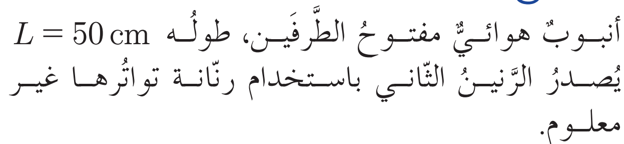
نستخدمُ رنّانة تواتُرها $f = 250\,\text{Hz}$ لقياسِ سرعةِ انتشار الصَّوت في الهواء داخلَ أنبوبٍ هوائيّ مُغلَق، فسُمع أعلى صوتٍ عندَما كانَ طولُ أقصرِ عمودٍ هوائيّ مُساوٍ $35\,\text{cm}$ ، أحسبُ سرعةَ انتشارِ الصَّوت في هواء الأنبوب ضمنَ شروطِ التَّجربة.

الحلّ:

$$L = \frac{\lambda}{4} \Longrightarrow \lambda = 4L = 4 \times 0.35 = 1.4\,\text{m}$$

$$v = \lambda f = 1.4 \times 250 = 350\,\text{m.s}^{-1}$$

تطبيق:



أنبوبٌ هوائيٌّ مفتوحُ الطَّرفَين، طولُه $L = 50\text{ cm}$ يُصدرُ الرَّنينُ الثّاني باستخدام رنّانة تواتُرها غير معلوم.
فإذا كانَت سرعةُ انتشارِ الصَّوت في شروطِ التّجربة $v = 340\text{ m.s}^{-1}$. أحسبُ تواتُر الرّنّانة.

الحلّ:

$$L = n\frac{\lambda}{2}$$

$$L_2 = 2\frac{\lambda}{2} = \lambda = 0.5\text{ m}$$

$$v = \lambda f \Longrightarrow f = \frac{v}{\lambda} = \frac{340}{0.5} = 680\text{ Hz}$$

تطبيق:

1. يبلغُ طولُ القناةِ السّمعيّة في الأذن البشريّة $L = 3\text{ cm}$ والتي تؤدّي إلى غشاءِ الطّبل وهي عبارةٌ عن عمودٍ هوائيّ مُغلَق، فإذا علِمتَ أنّ سرعةَ انتشارِ الصّوت في القناة $v = 348\text{ m.s}^{-1}$، أوجِدْ قيمةَ أصغرِ تواتُرٍ يحدثُ عندَه التّجاوُب (الرّنين الأول).
2. إذا علمْت أنّ الضّغطَ النّاتج عن مُحادَثةٍ عاديّةٍ $P = 0.02\text{ Pa}$، ومساحةَ غشاءِ الطّبل $S = 0.50\text{ cm}^2$. أوجِد القوّةَ الضّاغِطة المُؤثّرة في غشاءِ الطّبل.

الحلّ:

1. $$L = \frac{\lambda}{4} \Longrightarrow \lambda = 4L = 4 \times 0.03 = 0.12\text{ m}$$

$$v = \lambda f \Longrightarrow f = \frac{v}{\lambda} = \frac{348}{0.12} = 2900\text{ HZ}$$

وهذا أول تواتر لحدوث السّمع، ويُسمّى التّواتر الأساسيّ للقناة السّمعيّة.

2. $$F = P.S = 0.02 \times 0.5 \times 10^{-4} = 10^{-6}\text{ N}$$

تعاريف:

الأعمدةُ الهوائيّةُ المفتوحةُ والمُغلَقة:

العمودُ الهوائيُّ المفتوح: هو أنبوبٌ أسطوانيُّ الشّكل، مفتوحُ الطّرفين والمَملوءُ بجُزيئات الهواء السّاكنة يُمكِنُ تغيير طوله بإضافةِ أنبوبٍ آخرَ قطرُه أقلُّ، وطولُ هذا الأنبوب عندَ التّجاوُب يساوي عدداً صحيحاً من نصف طولِ الموجة.

$L = n\frac{\lambda}{2}$ حيثُ: $n = 1,2,3\ldots\ldots\ldots$

العمودُ الهوائيُّ المُغلَق: هو أنبوبٌ أسطوانيُّ الشّكل، مفتوحٌ من طرفٍ ومُغلَقٌ من الطَّرفِ الآخرِ والمملوءُ بجُزيئات الهواء السّاكنة يُمكِنُ تغيير طوله بإضافةِ الماء، وطولُ هذا الأنبوب عندَ التّجاوب يساوي عدداً فرديّاً من ربعِ طولِ الموجة.

$L = (2n-1)\frac{\lambda}{4}$ حيثُ: $n = 1,2,3\ldots\ldots\ldots$

المزمارُ: أنبوبٌ أسطوانيٌّ أو موشوريٌّ، مقطعُه ثابِتٌ وصغيرٌ بالنّسبة إلى طولِه، جدرانُه خشبيّةٌ أو معدنيّةٌ ثخينةٌ لكي لا تشاركَ في الاهتزاز، يحتوي غازاً (الهواء غالباً) يهتزُّ بالتّجاوُبِ معَ المنبع الصَّوتي للمِزمار.

تُصنَّفُ المنابعُ الصَّوتيّةُ إلى نوعَين:

1. المنبعُ ذو الفم:

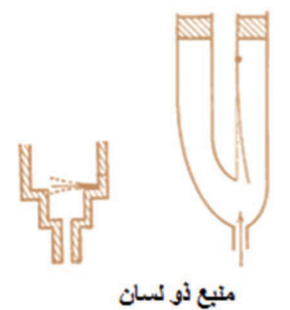
وهو نهايةُ غرفةٍ صغيرةٍ مفتوحةٍ يُدفَعُ فيها الهواءُ وينساقُ ليخرجَ من شقٍّ ضيّقٍ، ويتشكَّلُ عندَ الفم بطنُ اهتزازٍ (عقدة ضغط).



منبع ذو فم

2. المنبعُ ذو لِسان:

يتألّفُ من صفيحةٍ مرنةٍ تُدعَى اللّسان قابلةً للاهتزازِ، مُثبّتةً من أحدِ طرفَيها تقطعُ جريانَ الهواء، لها تواتُر المَنبع، ويتشكَّلُ عندَ اللّسان عقدة اهتزاز (بطن ضغط).



منبع ذو لسان

تعليلُ الأمواجِ المُستقِرّةِ الطوليّة في أنبوبِ هواءِ المِزمار:

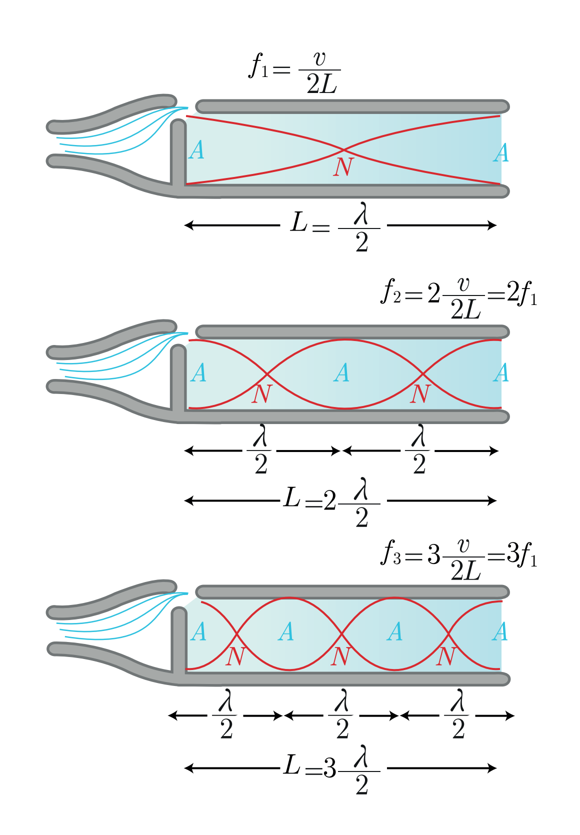
عندَما تهتزُّ طبقة الهواء المُجاوِرة للمنبع ينتشرُ هذا الاهتزاز طولياً في هواءِ المِزمار كلّه لينعكسَ على النهاية. تتداخلُ الأمواجُ الواردةُ معَ الأمواج المُنعكِسة داخل الأنبوب لتؤلِّفَ جملةَ أمواج مُستقِرَّة طولية، ويتكوَّنُ عندَ النّهاية المُغلَقة عقدةٌ للاهتزاز، أمَّا عندَ النّهاية المفتوحة يتكوّنُ بطنٌ للاهتزاز. ونُعلِّلُ ذلك: بأنّ الانضغاط الوارد إلى طبقة الهواء الأخيرة يزيحُها إلى الهواء الخارجيّ، فتُسبِّبُ انضغاطاً فيه، وتخلخُلاً وراءَها يستدعي تهافُتَ هواء المِزمار ليملأَ الفراغ، وينتُجُ عن ذلك تخلخلٌ ينتشرُ من نهاية المِزمار إلى بدايته، وهو مُنعكِسُ الانضغاط الوارد.

قوانينُ المِزمار:

تُقسَمُ المزاميرُ من النّاحية الاهتزازيّة إلى نوعَين:

1. مُتشابِهةُ الطّرفَين: منبعٌ ذو فم يتشكَّلُ عندَه بطن اهتزاز ونهايته مفتوحة يتشكَّلُ عندَها بطن اهتزاز، أو منبع ذو لسان تتشكَّلُ عندَه عقدة اهتزاز ونهايته مغلقة يتشكَّلُ عندَها عقدة اهتزاز.
2. مُختلِفةُ الطّرفَين: منبعٌ ذو فم يتشكَّلُ عندَهُ بطنُ اهتزاز ونهايتُه مُغلَقة تتشكَّلُ عندَها عقدةُ اهتزازٍ، أو منبعٌ ذو لسانٍ تتشكَّلُ عندَه عقدةُ اهتزازٍ ونهايتُه مفتوحة يتشكَّلُ عندَها بطنُ اهتزاز.

أولاً: المِزمارُ مُتشابِهُ الطَّرفَين:



يُبيّنُ الشَّكلُ عقدَ وبطونَ الاهتزاز في مزمارٍ مُتشابهِ الطَّرفَين، وفيه يكونُ طولُ المزمار L يساوي عدداً صحيحاً من نصفِ طولِ الموجة. نلاحظُ من الشكل أنّ طول المزمار L يساوي تقريباً: $\frac{\lambda}{2}, 2\frac{\lambda}{2}, 3\frac{\lambda}{2}, ...$ أي:

$$L = n\frac{\lambda}{2}$$

حيثُ: $n = 1,2,3........$ عددٌ صحيحٌ موجبٌ، ولكن $\lambda = \frac{v}{f}$ نعوِّضُ فنجدُ:

$$L = n\frac{v}{2f}$$

$$f = n\frac{v}{2L}$$

f تواتُر الصَّوتِ البسيط الصّادر عن المِزمار (Hz).

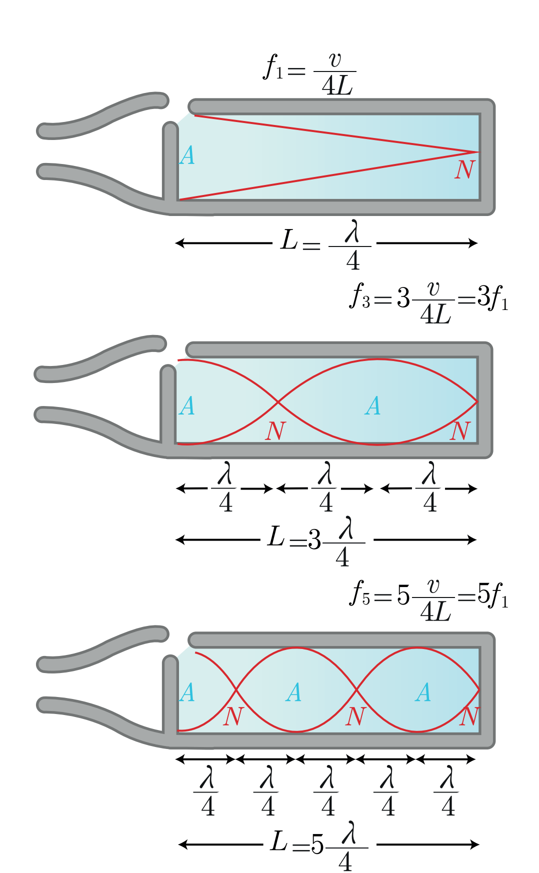
L طولُ المِزمار (m).

v سرعةُ انتشارِ الصَّوت في غاز المزمار $(m.s^{-1})$.

n عددٌ صحيحٌ موجبٌ يمثِّلُ رتبةَ صوتِ المزمار (مدروجات الصَّوت).

ولكي يُصدرَ المزمارُ مدروجاته المُختلِفة نزيدُ نفخَ الهواء فيه تدريجيّاً، كما يُمكِنُ إصدارُ مدروجات المِزمار ذي اللّسان بتغيير طولِ اللّسان.

ثانياً: المزمار مختلف الطرفين:



يُبيّن الشكل عقداً وبطونَ الاهتزاز في مزمار مختلف الطرفين، وفيه يكونُ طول المزمار L يساوي عدداً فردياً من ربع طول الموجة. نلاحظ من الشكل أنّ طول المزمار L يساوي تقريباً $\frac{\lambda}{4}, 3\frac{\lambda}{4}, 5\frac{\lambda}{4}, ...$:

أي:

$$L = (2n-1)\frac{\lambda}{4}$$

حيثُ: $n = 1,2,3.........$ عددٌ صحيحٌ موجب، ولكن $\lambda = \frac{v}{f}$ نعوِّضُ فنجدُ:

$$L = (2n-1)\frac{v}{4f}$$

$$f = (2n-1)\frac{v}{4L}$$

f تواتُرُ الصَّوتِ البسيطِ الصّادرِ عن المِزمار (Hz).
L طولُ المِزمارِ (m).
v سرعةُ انتشارِ الصَّوتِ في غاز المزمار ($m.s^{-1}$).
$(2n-1)$ يمثِّلُ رتبةَ صوتِ المِزمار (مدروجات الصَّوت).

ملاحظات:

- تواتُرُ الصَّوت الأساسيّ الذي يُصدِرُه مِزمارٌ يتناسبُ طرداً معَ سرعةِ انتشارِ الصَّوتِ في غازِ المِزمار. ويُمكِنُ تغييرُ هذه السّرعة بزيادةِ درجةِ حرارةِ الغاز أو تغيير طبيعتِه.
- تدلُّ التَّجاربُ على أنّ سرعةَ انتشارِ صوتٍ في الغازات:

a. تتناسبُ سرعةُ انتشارِ الصَّوتِ في غازٍ مُعيَّنٍ طرداً معَ الجذرِ التّربيعيّ لدرجةِ حرارتِه المُطلَقة T (كلفن)

$$\frac{v_1}{v_2} = \sqrt{\frac{T_1}{T_2}}$$

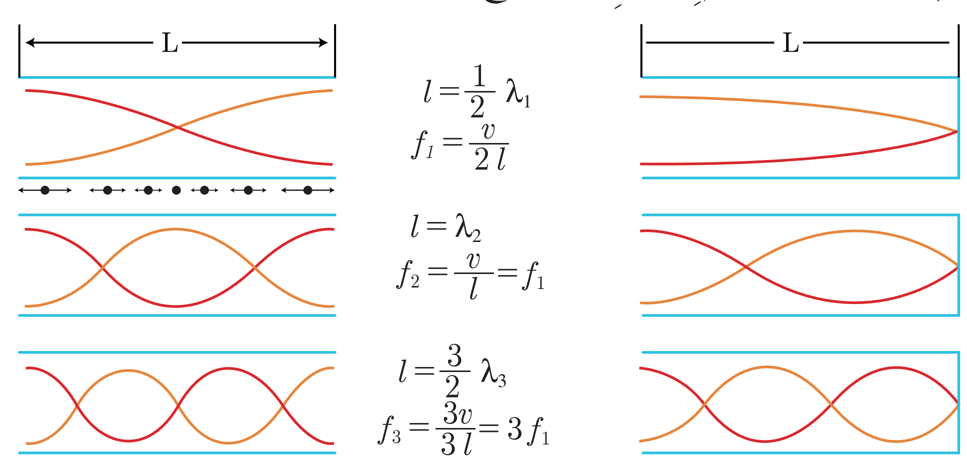
حيثُ: $T(K) = 273 + t(^{\circ}C)$

b. تتناسبُ سرعتا انتشارِ الصَّوت في غازَين مُختلِفَين عكساً مع الجذرِ التّربيعي لكثافتَيهما D_1, D_2 بالنّسبة للهواء، إذا كانَ الغازان في درجةِ حرارةٍ واحدة، ولهما رتبةٌ ذريّةٌ واحدة (أي عددُ الذّرّات الّتي تُؤلِّفُ جُزيئته هي نفسُها). أي:

$$\frac{v_1}{v_2} = \sqrt{\frac{D_2}{D_1}} = \sqrt{\frac{M_2}{M_1}}$$

M : الكتلة الموليّة للغاز (الكتلة الجزيئيّة الغراميّة)
تُعطى كثافةُ غازٍ بالنّسبةِ للهواء بالعلاقة: $D = \frac{M}{29}$

مُلاحَظة: بما أنَّ الرّنّانة تقعُ خارجَ الأنبوبِ الزّجاجيّ بمسافة مُعيَّنة، فإنَّ بطنَ الاهتزازِ سيمتدُّ إلى خارجِ الأنبوبِ قليلاً، لذلكَ يجبُ تصحيحُ طولِ العمودِ الهوائيّ المقيس بإضافة هذه المسافة إلى الطّولِ الأصليّ L والّتي تُسمَّى مِقدار التّصحيح، فتصبحُ العلاقة: $L_1 = \frac{\lambda}{4} + 0.6\,d$
حيثُ d : نصف قطر الأنبوب الزجاجي.
في العمود الهوائيّ مفتوحِ الطّرفَين يتشكَّلُ عندَ كلِّ طرفٍ مفتوحٍ بطنٌ للاهتزاز، لذلكَ يجبُ تصحيحُ طولِ العمود باستخدامِ عاملِ التَّصحيح مرّتَين.



تعلّمتُ

- تتشكّلُ الأمواجُ المُستقِرّة العرضيّة نتيجةَ التّداخُل بينَ موجةٍ جيبيّةٍ واردةٍ معَ موجةٍ جيبيّةٍ مُنعكِسةٍ على نهايةٍ مُقيّدَةٍ – مُرتبطةٍ بالبكرة – تعاكسُها بجهةِ الانتشار، ولها التّواتُر نفسُه والسّعةُ نفسُها، وينتجُ عن تداخُلِهما:
  نقاطٌ تهتزُّ بسعةٍ عُظمى تسمَّى بطونُ الاهتزاز.
  نقاطٌ تنعدمُ فيها سعةُ الاهتزازِ تسمَّى عقدُ الاهتزاز.
  المسافةُ الفاصلة بينَ العقدِ مُتساوية وتساوي نصفَ طولِ الموجة $\frac{\lambda}{2}$.
  المسافةُ الفاصِلة بينَ البطون مُتساوية وتُساوي نصفَ طولِ الموجة $\frac{\lambda}{2}$.
  المسافةُ بينَ كلِّ عقدةٍ وبطنٍ يليه مُباشَرة $\frac{\lambda}{4}$.
- في الأمواجِ المُستقِرّة العرضيّة المُنعكِسة على نهاية مُقيّدة:
  $$L = n\frac{\lambda}{2} \quad , \quad \lambda = \frac{v}{f}$$
  $$f = n\frac{v}{2L}$$
  حيثُ: n عدد صحيح موجب $n = 1,2,3,4 ......$
  – يُسمّى أوّلُ تواتُرٍ يولِّدُ مِغزلاً واحداً: التّواتُر الأساسيّ.
  $n = 1 \Longrightarrow f_1 = \frac{v}{2L}$ المدروج الأوّل (الأساسيّ).
  – وتُسمَّى بقيَة التّواتُرات من أجلِ $n = 1,2,3,4 ......$ بـ تواتُرات المدروجات.
- في الأمواجِ المُستقِرّة العرضيّة المُنعكِسة على نهايةٍ طليقةٍ:
  $$L = (2n-1)\frac{\lambda}{4} = (2n-1)\frac{v}{4f}$$
  $$f = (2n-1)\frac{v}{4L}$$
  حيثُ: n عددٌ صحيحٌ موجِبٌ $n = 1,2,3,4 ......$
  ويُمثّل $(2n-1)$ مدروج الصّوت الصّادر.
  يهتزُّ الوترُ بالتّجاوُبِ عندَما يكونُ $f = n\frac{v}{2L} = \frac{n}{2L}\sqrt{\frac{F_T}{\mu}} = \frac{n}{2L}\sqrt{\frac{F_T L}{m}}$
- طولُ أقصر عمودٍ هوائيّ فوقَ سطح الماء يحدثُ عندَه التّجاوب (الرَّنين الأوّل) يُساوي $L_1 = \frac{\lambda}{4}$.
- طولُ العمود الهوائيّ فوقَ سطحِ الماء يحدثُ عندَه التّجاوب (الرَّنين الثّاني) يُساوي $L_2 = \frac{3\lambda}{4}$.
- المسافةُ بينَ مُستويَي الماءِ المُوافقيَن للصّوتَين الشّديدَين المُتتاليَين $\Delta L = \frac{\lambda}{2}$
- في العمودِ الهوائيّ مفتوح الطّرفَين يتشكّلُ عندَ كلِّ طرفٍ مفتوحٍ بطنٌ للاهتزازِ، وفي مُنتصَفِ العمود عقدةٌ للاهتزاز فيكونُ طولُ العمود الهوائيّ في هذه الحالة $L = \frac{\lambda}{2}$.
- في العمودِ الهوائيّ المُغلَق لا يُمكِنُ الحصولُ على المدروجات ذات العدد الزّوجيّ.
- في المزمار مُتشابِهِ الطّرفَين: $L = n\frac{\lambda}{2} \quad , \quad f = n\frac{v}{2L}$.
- في المزمار مُختلِفِ الطّرفَين: $L = (2n-1)\frac{\lambda}{2} \quad , \quad f = (2n-1)\frac{v}{2L}$.

أختبر نفسي

أولا: اخترِ الإجابةَ الصَّحيحة في كلٍّ ممَّا يأتي:

1. في الأمواجِ المُستقِرَّة العرضيّة المسافةُ بينَ عقدتَين مُتتاليتَين تُساوي:

a. $\frac{\lambda}{4}$ b. $\frac{\lambda}{2}$ c. λ d. 2λ

2. فرقُ الطور φ بينَ الموجةِ الوارِدة والموجةِ المُنعكِسة على نهايةٍ مُقيّدةٍ تساوي بالرّاديان:

a. $\varphi = 0$ b. $\varphi = \frac{\pi}{3}$ c. $\varphi = \frac{\pi}{2}$ d. $\varphi = \pi$

3. في تجربةِ ملد معَ نهايةٍ طليقةٍ يُصدرُ وتراً طولُه L صوتاً أساسياً، طولُ موجتِه λ تساوي:

a. $4L$ b. $2L$ c. L d. $\frac{L}{2}$

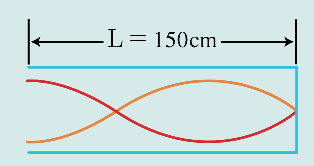
4. وترٌ مُهتَزٌّ طولُه L، وسرعةُ انتشارِ الموجةِ العرضيّة على طولِه v، وقوّةُ شدِّه F_T، فإذا زِدْنا قوّةَ شدِّه أربعَ مرّاتٍ لتصبحَ سرعةُ انتشارِه v' تساوي:

a. $\frac{v}{4}$ b. $\frac{v}{2}$ c. $2v$ d. $4v$

5. وترٌ مُهتَزٌّ طولُه L، وكتلتُه m، وكتلتُه الخطيّة μ، نقسمُه إلى قسمَين مُتساويَين، فإنَّ الكتلةَ الخطيّة لكلِّ قسمٍ تساوي:

a. 2μ b. μ c. $\frac{\mu}{2}$ d. 4μ

6. يُمثّلُ الشّكلُ أنبوباً هوائيّاً مُغلَقاً طولُه $L = 150$ cm، فإنَّ طولَ الموجةِ الصَّوتيّة λ تساوي:



a. 50 cm   b. 250 cm   c. 200 cm   d. 150 cm

7. طولُ العمودِ الهوائيّ المفتوح الّذي يُصدِرُ نغمتَه الأساسيّة يُعطَى بالعلاقة:

a. $L = \frac{\lambda}{4}$ b. $L = \frac{\lambda}{2}$ c. $L = \lambda$ d. $L = 2\lambda$

8. طولُ العمودِ الهوائيّ المُغلَق الذي يُصدرُ نغمتَه الأساسيّة يُعطَى بالعلاقة:

a. $L = \frac{\lambda}{4}$ b. $L = \frac{\lambda}{2}$ c. $L = \lambda$ d. $L = 2\lambda$

9. وترانِ مُتجانِسان من المعدنِ نفسِه مشدودان بقوّة الشّدِّ نفسِها، قطرُ الوتر الأوّل $1\,mm$ ، وقطرُ الوتر الثّاني $2\,mm$ ، فإذا كانَت سرعةُ انتشارِ اهتزازٍ عرضيّ في الوترَين v_2, v_1 على التّرتيبِ، فإنَّ

a. $v_1 = v_2$ b. $v_1 = 2v_2$ c. $v_1 = 4v_2$ d. $2v_1 = v_2$

10. مزمارٌ مُتشابِه الطَّرفَين طولُه L ، وسرعةُ انتشارِ الصَّوتِ في هوائه v ، فتواترُ صوتِه البسيط الأساسيّ الذي يُصدرُه يُعطَى بالعلاقة:

a. $f = \frac{v}{2L}$ b. $f = \frac{v}{4L}$ c. $f = \frac{4v}{L}$ d. $f = \frac{2v}{L}$

11. مزمارٌ ذو فمٍ، نهايتُه مفتوحةٌ، عندَما يهتزُّ هواؤه بالتّجاوبِ يتكوّنُ عندَ نهايته المفتوحة:

a. بطن ضغط b. بطن اهتزاز c. عقدة اهتزاز d. جميع ما سبق صحيح

12. مزمارٌ مُتشابِهُ الطّرفَين طولُه L ، يصدرُ صوتاً أساسيّاً مواقِتاً للصّوتِ الأساسيِّ لِمزمارٍ آخرَ مُختلِفِ الطّرفَين طولُه L' في الشّروطِ نفسِها. فإنّ:

a. $L = L'$ b. $L = 2L'$ c. $L = 3L'$ d. $L = 4L'$

13. يصدرُ أنبوبٌ صوتيٌّ مُختلِفُ الطّرفَين صوتاً أساسيّاً، تواترُه $435\,Hz$ ، فإنَّ تواتُرَ الصّوتِ التّالي الّذي يُمكِنُ أن يصدرَه يساوي:

a. $145\,Hz$ b. $217.5\,Hz$ c. $870\,Hz$ d. $1305\,Hz$

14. في تجربةِ ملد معَ نهايةٍ مُقيّدةٍ تتكوّنُ أربعةُ مغازلَ عندَ استخدامِ وترٍ طولُه $L = 2\,m$ ، وهزّازةٌ تواتُرُها $f = 435\,Hz$ فتكونُ سرعةُ انتشارِ الاهتزازِ v مقدَّرة بـ $m.s^{-1}$ تُساوي:

a. 435 b. 290 c. 1742 d. 870

15. إذا كانَت v_1 سرعةُ انتشارِ الصَّوت في غازِ الهدروجين $(H = 1)$، و v_2 سرعةُ انتشارِ الصَّوتِ في غازِ الأكسجين:

a. $v_1 = v_2$ b. $v_1 = 4v_2$ c. $v_1 = 8v_2$ d. $v_1 = 16v_2$

16. طولُ الموجة المُستقِرّة هو:

a. المسافةُ بينَ بطنَين مُتتاليَين أو عقدتَين مُتتاليتَين

b. مِثلي المسافة بينَ بطنَين مُتتاليَين أو عقدتَين مُتتاليتَين

c. نصفُ المسافة بينَ بطنَين متتاليَين أو عقدتَين متتاليتَين

d. نصفُ المسافة بينَ بطنٍ وعقدةٍ تليه مُباشرة.

ثانياً: أجبْ عن الأسئلةِ الآتيةِ

1. في تجربةِ أمواجٍ مُستقِرَّة عرضيّة تُعطى مُعادَلة اهتزازِ نقطةِ n من وترٍ مرنٍ تبعدُ $\overline{x}$ عن نهايتِه المُقيّدة:

$$\overline{y}_{n(t)} = 2Y_{\max} \sin \frac{2\pi}{\lambda} \overline{x} \sin(wt)$$

2. استنتجِ العلاقةَ المُحدَّدة لكلٍّ من مواضعِ بطونِ وعقدِ الاهتزاز، ما بُعدُ البطنِ الثّاني عن النّهايةِ المُقيّدة؟ كيفَ نجعلُ مِزماراً ذا لسانٍ مُختلِفِ الطَّرفَين من النّاحيةِ الاهتزازيّة؟ استنتجِ العلاقةَ المُحدَّدة لتواتُرِ الصَّوت البسيطِ الّذي يصدرُه هذا المِزمار بدلالةِ طوله.

3. تُثبّتُ بإحدى شعبتَي رنّانةٍ كهربائيّة تواتُرها f طرفَ وترٍ له طولٌ مُناسِب ومشدود بثقلٍ مُناسِب كتلتُه m لتتكوَّنَ أمواجٌ مُستقِرَّةٌ عرضيّةٌ بثلاثةِ مغازل، ولكي نحصلَ على مِغزلَين نُجري التّجربتَين الآتيتَين:

   a. نستبدلُ الرّنّانة السّابقة برنانةٍ أُخرى، تواتُرها f' مع الكتلةِ السّابقة نفسِها m. استنتجِ العلاقةَ بينَ التّواتُرَين f، f'.

   b. نستبدلُ الكتلةَ السّابقة m بكتلةٍ أُخرى m' مع الرّنّانة السّابقة نفسِها f. استنتج العلاقةَ بينَ الكتلتين m، m'

4. كيفَ يتمُّ عملياً الكشفُ عن الحقلِ الكهربائيّ $\overrightarrow{E}$ والحقلِ المغناطيسيّ $\overrightarrow{B}$ في الأمواجِ المُستقِرَّة الكهرطيسيّة المُنتشِرة في الهواء؟

5. إذا تكوَّنت ثلاثةُ مغازلٍ لأمواجٍ مُستقِرَّة عرضيّة في وترٍ مشدودٍ بقوَّة مُناسِبة، وأردْنا الحصولَ على خمسةِ مغازلٍ بتغيير قوَّة الشّدّ فقط، فهل نزيدُ تلك القوَّةَ أم نُنقصُها؟ ولماذا؟

علّل ما يأتي:

   a. لا يحدثُ انتقالٌ للطّاقة في الأمواج المُستقِرَّة كما في الأمواج المُنتشِرة.

   b. تُسمّى الأمواجُ المُستقِرَّة بهذا الاسم.

6. في الأمواجِ المُستقِرَّة العرضيّة، هل يهتزُّ البطنُ الأوّل والبطنُ الثّالث التّالي على توافُقٍ أم على تعاكُسٍ فيما بينَهما ؟

ثالثاً: حل المسائل الآتية: (في جميع المسائل $g = 10\,m.s^{-1}$)

المسألة الأولى:

إذا كانَت سرعةُ انتشار الصَّوت في الهواء $v = 331\,m.s^{-1}$ بدرجة $0^\circ C$. احسب سرعةَ انتشارِ الصَّوت في الدّرجة $t = 27^\circ C$.

المسألة الثانية:

يُصدِرُ أنبوبٌ صوتيّ مُختلِف الطّرفَين صوتاً أساسيّاً تواتُره $f = 435\,Hz$. فما تواتُراتُ الأصوات الثّلاثة المُتتالية التي يُمكنُه أن يصدرَها؟

المسألة الثّالثة:

يُصدِرُ وترٌ صوتاً أساسيّاً تواتُره $250\,Hz$. كم يُصبِحُ تواتُرُ صوتِه الأساسيّ إذا نقصَ طولُ الوتر حتّى النّصف $(L' = \frac{L}{2})$ وازدادَت قوَّةُ الشّدّ حتّى مثلَيها $(F' = 2F)$.

المسألة الرابعة:

تهتزُّ رنّانة تواتُرها $f = 440\,Hz$ فوقَ عمودٍ هوائيّ مُغلَق، حدِّدِ البُعدَ الذي يحدثُ عندَه الرّنين الأوّل عندَما تكونُ درجةُ حرارةِ الهواءِ في العمود $t = 20^\circ C$، حيثُ سرعةُ انتشارِ الصَّوت في هذه الحالة $v = 340\,m.s^{-1}$

المسألة الخامسة:

استُعمِلَت رنّانةٌ تواتُرُها $f = 445\,\text{Hz}$ فوقَ عمودِ رنينٍ مُغلَق لتحديدِ سرعةِ انتشار الصَّوت في غاز الهيليوم. فإذا كانَ البُعدُ بينَ صوتَين شديدَين مُتتاليَين (رنينَين مُتعاقِبَين) $L = 110\,\text{cm}$ ، احسُب سرعةَ انتشار الصَّوت في غاز الهيليوم.

المسألة السادسة:

احسُب تواتُرَ الصَّوت الأساسيّ لوترٍ مشدودٍ طولُه $L = 0.7\,\text{m}$ وكتلتُه $m = 7\,\text{g}$ ، شُدَّ بقوَّةٍ قدرُها $F_T = 49\,\text{N}$

المسألة السابعة:

تهتزُّ شعبتا رنّانةٍ كهربائيّةٍ بتواتر $f = 30\,\text{Hz}$ ، نصلُ إحدى الشّعبتَين بخيطٍ مرنٍ طولُه $L = 2\,\text{m}$.

1. يُشَدُّ الخيطُ بقوَّةٍ شدتُها $F_T = 7.2\,\text{N}$ فيهتزُّ مُكوِّناً مغزلاً واحداً. استنتجْ كتلةَ الخيط؟
2. احسب قوّتَي الشّدّ التي تجعلُ الخيطَ يهتزُّ بمِغزلَين ثمَّ بثلاثةِ مغازلَ معَ الرّنّانة نفسِها؟

المسألة الثامنة:

احسب سرعةَ انتشار اهتزازٍ عرضيّ في وترٍ قطرُ مقطعِه $0.1\,\text{mm}$ ، وكثافةُ مادّته 8، مشدودٌ بقوَّةٍ شدّتُها $F_T = 100\pi\,\text{N}$.

المسألة التاسعة:

إذا كانَت سرعةُ انتشار الصّوت في الهواء $v = 330\,\text{m.s}^{-1}$

المطلوب:

1. احسب تواتر الصَّوت الأساسيّ الذي يُصدِرُه عمودٌ هوائيٌّ طولُه $L = 2\,\text{m}$ إذا كانَ مُغلَقاً، ثمَّ إذا كانَ مفتوحاً.
2. احسب تواتر المدروج الثّالث في كلِّ حالةٍ.

المسألة العاشرة:

وترُ آلةٍ موسيقيّة، طولُه $L = 1\,\text{m}$ ، وكتلتُه $m = 20\,\text{g}$ ، مُثبَّت من طرفَيه ومشدودٌ بقوَّة $F_T = 2\,\text{N}$.

المطلوب:

1. سرعة انتشار الاهتزاز على طول الوتر.
2. تواتر الصَّوت الأساسيّ الذي يُمكِنُ أن يصدرَ عنه.
3. التّواتُرات الخاصّة لمدروجاته الثّلاثة الأولى.

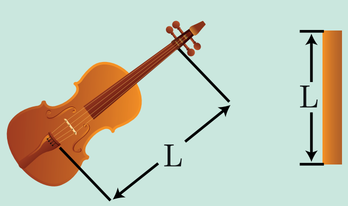
المسألة الحادية عشرة:

مزمارٌ مُتشابِهُ الطّرفَين طوله $L = 1\,\text{m}$ يُصدِرُ صوتاً تواتُره $f = 3170\,\text{Hz}$ ، يحوي هواءً في درجةِ حرارةٍ مُعيّنةٍ حيثُ سرعةُ انتشارِ الصَّوت $v = 340\,\text{m.s}^{-1}$.

المطلوب:

1. احسب عدد أطوالِ الموجةِ الّتي يحويها المِزمار.
2. احسب طول مِزمارٍ آخرَ مُختلِف الطّرفَين يحوي الهواء يُصدِرُ صوتاً أساسيّاً مواقِتاً للصّوت السّابق في درجة الحرارة نفسِها.

تفكير ناقد



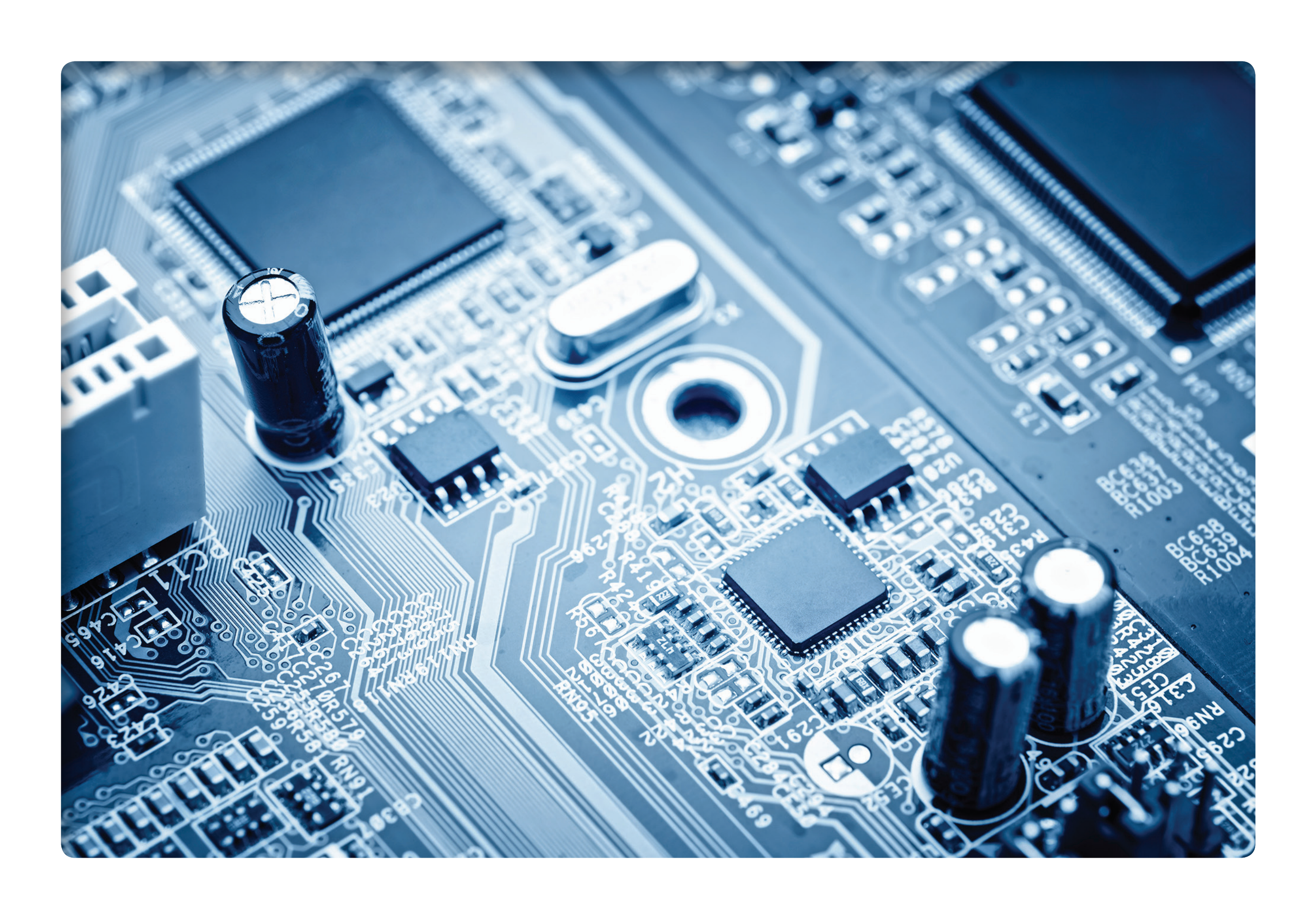
استنتجْ قوّةَ الشّدّ F_T في وترِ كمانٍ كتلتُه m، وطولُه L، عندَما يهتزُّ بالتّواتُر الأساسيّ، الذي يساوي التّواتُر الأساسيّ لعمود هوائيّ مُغلَق طوله L، وسرعةُ انتشارِ الصّوت في الهواء v.



أبحث أكثر

تسمّى دراسة اهتزاز الأمواج في الشمس بالسيمولوجيا الشمسية وهي علم زلازل الشمس، ابحث في الشابكة عن هذه الظاهرة وعن كيفية تشكّل الأمواج الصوتية في الشمس.

الوحدة الرّابعة
الإلكترونيّاتُ والجسمُ الصّلبُ



النّماذجُ الذّرّيّةُ والطّيوفُ 1



الأهداف:

* يتعرَّفُ فرضياتِ نموذج بور الذّرّيّ الخاصّ بذرّةَ الهدروجين.
* يُحدِّدُ سويّاتِ الطّاقة في ذرّة الهدروجين.
* يستنتجُ علاقةَ طاقة إلكترون ذرّة الهدروجين في مداره
* يشرحُ معَ الرَّسم مفهوم إثارة الذَّرّة.
* يوضِّحُ طرقَ إثارة الذَّرّة.
* يميّزُ بينَ أنواع الطّيوف.

الكلمات المفتاحية:

* التّكميم.
* طاقة التّأيُن.
* سويّات الطّاقة.
* الطّيوف الذّرّيّة.
* طيفٌ مُستمِرّ.
* طيفٌ مُتقطِّع.
* التَّحليلُ الطّيفيّ.



الطّيف الكهرطيسيّ مُصطلَح عام يشملُ جميعَ التّردُّدات المُمكِنة من الإشعاعات الكهرطيسيّة. ويُعرَفُ الطّيف الكهرطيسيّ ايضاً بخطوط الأشعّة الصّادرة من جسم أسودَ عندَ درجةِ حرارةٍ مُعيّنة.
لكلِّ عنصرٍ كيميائيٍّ طيفٌ يُميّزه، أي له مجموعةُ خطوطٍ مُتسلسِلة تُميّزه عن غيره، ويسمّى هذا الطّيف "طيف انبعاث"

هل تساءلت كيفَ يستفيدُ العلماءُ من دراسةِ ظاهرةِ كسوفِ الشَّمس، لمعرفةِ مُكوِّناتِها.

نموذج بور

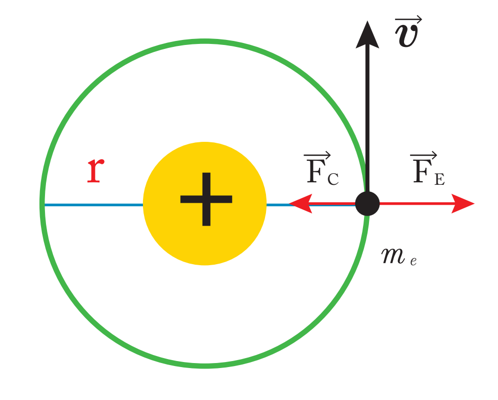
قدّمَ بور نموذجَه في بنية الذَّرّة مُعتمِداً على التّوفيق بينَ النّموذج الذّرّيّ والنّظريّة الكهرطيسيّة، وكانَ يرى في نظريّة الكمّ وثابت بلانك حلاً لذلك، واستخدمَ بور تكميمَ الضّوء لشرحِ الطّيوف الذّرّيّة، ووضعَ المبادئ الآتية:

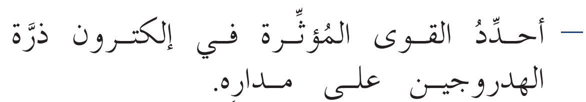
1. إنَّ تغيُّرَ طاقةِ الذَّرّة مُكمَّم.
2. لا يُمكِنُ للذّرّة أنْ تتواجدَ إلّا في حالات طاقية مُحدَّدة، كلّ حالةٍ منها تتميّزُ بسويّة طاقية مُحدَّدة.
3. عندَما ينتقلُ الإلكترون في ذرّةٍ مُثارَة من سويّة طاقية E_2 إلى سويّة طاقية E_1 فإنَّ الذَّرّة تُصدِرُ فوتوناً طاقتُه تساوي فرق الطّاقة بينَ السّويتَين، أي: $\Delta E = E_2 - E_1 = h.f$

التّكميمُ في ذرّةِ الهدروجين

نشاط:

في الشّكل المُجاوِر تمثيلٌ لأبسطِ ذرّةٍ في الطّبيعة وهي ذرّةُ الهدرجين، التي تتكوَّنُ من إلكترونٍ واحد يتحرَّكُ في الحقل الكهربائيّ لبروتون واحد. ألاحظُ وأجيبُ:





- أحدّدُ القوى المُؤثّرة في إلكترون ذرّة الهدروجين على مداره.
- أكتبُ علاقةَ شدَّة كلّ قوّة من القوى المُؤثّرة في الإلكترون.
- أفسّرُ سببَ الحركة الدّائريّة المُنتظَمة لهذا الإلكترون.

أستنتج

- يخضعُ الإلكترون لتأثيرِ قوّتَين بإهمالِ قوّة التجاذب الكتلي بينَ البروتون والإلكترون لصغرِها، هما:
  - القوّة الكهربائيّة الناجمة عن جذبِ النّواةِ (بروتون) له، تُعطَى شدّتُها بالعلاقة: $F_E = k\,\dfrac{e^2}{r^2}$ ......(1)
    حيثُ: $k = \dfrac{1}{4\pi\varepsilon_0}$, ε_0 سماحية الخلاء الكهربائيّة،
    r نصفُ قطر المدار الذي يتحرّكُ عليه الإلكترون.
  - قوّة العطالة النابذة ناجمة عن الدّوران، تُعطَى شدّتُها بالعلاقة: $F_C = m_e\,\dfrac{v^2}{r}$ ......(2)
- حركةُ إلكترون ذرّة الهدروجين حولَ النّواة هي حركة دائريّة مُنتظَمة، لأنّ القوَّة الكهربائيّة الناجمة عن جذبِ النّواة له مُساويةٌ لقوّةِ العطالة النّابذة.

1. فرضيات بور

الفرض الأوّل:

حركةُ الإلكترون حولَ النّواة دائريّة مُنتظَمة، أي:

$$F_E = F_C$$

$$k\frac{e^2}{r^2} = m_e\frac{v^2}{r}$$

$$v^2 = k\frac{e^2}{m_e r}\,.........(3)$$

الطّاقة الميكانيكيّة (الكليّة) للإلكترون: $E = E_k - E_p\,.........(4)$

حيثُ: E_p الطّاقة الكامِنة الكهربائيّة: $E_p = -k\frac{e^2}{r}$

E_k الطّاقة الحركية: $E_k = \frac{1}{2}k\frac{e^2}{r}$

بالتّعويض والإصلاح نجدُ: $E = -k\frac{e^2}{2r}\,.........(5)$

وهي علاقةُ الطّاقةِ المَيكانيكيّة لإلكترون ذرَّةِ الهدروجين في مداره.

الفرضُ الثّاني:

اقترحَ بور أنَّ هناكَ مداراتٍ مُحدَّدةً ذاتَ أنصافِ أقطارٍ مُختلِفة يُمكِنُ لإلكترون ذرّة الهدروجين أن يدورَ فيها حولَ النّواة، وفي أيّ منها عزمُ كمّيّة الحركة للإلكترون من المُضاعَفات الصَّحيحة لـ $\frac{h}{2\pi}$ أي أنَّ العزمَ الحركيَّ للإلكترون يُعطَى بالعلاقة:

$$m_e\, v\, r = n\frac{h}{2\pi}\,.........(6)$$

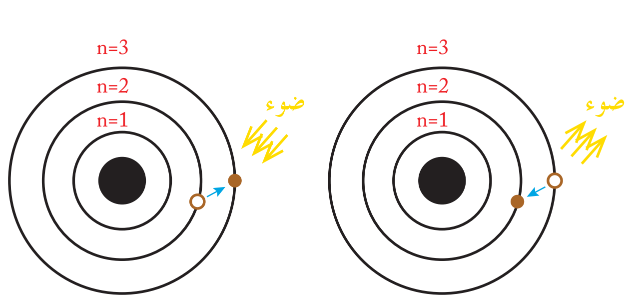
حيثُ $h = 6.63 \times 10^{-34}$ J.s ثابت بلانك، $n = 1,2,3,......$ رقم المدار.

الفرض الثالث:

لا يُصدِرُ الإلكترون طاقةً طالما بقيَ مُتحرِّكاً في أحدِ مداراتِه حولَ النّواة، لكنَّه يمتصُّ طاقةً بكمّياتٍ مُحدَّدة عندَما ينتقلُ من مداره إلى مدارٍ أبعدَ عن النّواة، ويُصدِرُ طاقةً بكمّياتٍ مُحدَّدة عندَما ينتقلُ من مداره إلى مدارٍ أقربَ إلى النّواة تُحسَب بالعلاقة:

$$\Delta E = h\,.\,f$$

حيثُ: f تواتُر الإشعاع، h ثابت بلانك.



2. سويّات الطّاقة في ذرّة الهدروجين

من العلاقة (6) نجدُ:

$$v^2 = \frac{n^2 h^2}{4\pi^2 m_e^2 r^2} \ldots\ldots\ldots (7)$$

بالتّعويض في (1) نجدُ:

$$\frac{1}{2} m_e \frac{n^2 h^2 4\pi^2}{m_e^2 r^2} = \frac{1}{2} k \frac{e^2}{r}$$

نستنتجُ:

$$r = r_n = \frac{n^2 h^2}{4\pi^2 m_e k}$$

أي:

$$r = n^2 r_0$$

معَ: $r_0 = \frac{h^2}{4\pi^2 m_e k}$ هو نصفُ قطر بور الذي نحصلُ عليه عندَما $n = 1$.

بالتّعويض في (2) نجدُ:

$$E = E_n = -\frac{1}{n^2} \frac{2\pi^2 m_e k^2 e^4}{h^2}$$

أي:

$$E_n = \frac{E_0}{n^2}$$

حيثُ:

$$E_0 = -\frac{2\pi^2 e^4 k^2 m_e}{h^2} = -13.6\, eV$$

إذاً طاقةُ الحالةِ الأساسيّة للهيدروجين $(n = 1)$:

$$E = E_0 = -13.6\, eV$$

3. سويّات الطّاقة في ذرّة الهدروجين

لكي تتأينَ ذرّةُ الهدروجين يجبُ إعطاؤها طاقةً تكفي لنقلِ الإلكترون من السّويّة الأساسيّة إلى حالة عدم الارتباط أي إلى طاقةٍ معدومةٍ، أي يلزمُ إعطاءُ طاقةٍ أكبرُ أوَ تُساوي $-13.6\, eV$.

4. طاقة الإلكترون في مداره:

تتواجدُ إلكتروناتُ الذَّرّة في حالة حركة حولَ نواتِها، لكن لا يُمكِنُ تحديدُ موضع (أو سرعة) أيٍّ من هذه الإلكترونات في لحظة ما بدقة، وإنما يُمكِنُ فقط تحديدُ كثافةِ احتمال تواجُد الإلكترون في لحظةٍ ما في موضع ما. بالرَّغم من ذلك فقد تمَّ استخدامُ النّماذج الذّرّيّة الكلاسيكيَّة، التي تفترضُ مَساراتٍ دائريّة للإلكتروناتِ حولَ النّواة، لإيجادِ طاقاتٍ وسرع الإلكتروناتِ في السّويّات المُختلِفة وذلكَ من أجلِ ذرَّة الهدروجين، والذّرّات الشّبيهة بالهدروجين.

إنَّ الطّاقةَ الكليّة للإلكترون في مدارِه في جملةِ (إلكترون – نواة) تتألّفُ من قسمَين:

1. قسم سالِب هو الطّاقةُ الكامنة نتيجة تأثُّره بالحقلِ الكهربائيّ النّاتج عن النّواة والّتي تُعطَى بالعلاقة:

$$E_p = F_C\, r_n = -\frac{e^2}{4\pi\,\varepsilon_0 r_n}$$

2. قسم موجِب هو الطّاقة الحركيَّة النّاتِجة عن دورانِه حولَ النّواة والّتي تُعطَى بالعلاقة:

$$E_k = \frac{1}{2}\, m_e v_n^2 = \frac{e^2}{8\pi\,\varepsilon_0 r_n}$$

أي أنّ: $E_n = E_p + E_k$

نعوّضُ عن e , r_n , ε_0 فنحصلُ على العلاقة التي تُعطي الطّاقة الكليّة للإلكترون في مدار n:

$$E_n = -\frac{13.6}{n^2}$$

وهي طاقةٌ سالِبةٌ لأنّها طاقةُ ارتباطٍ تُشكِّلُ طاقةَ التّجاذُب الكهربائيّة الجزءَ الأكبرَ منها، والقيمةُ المُطلَقةُ لهذه الطّاقة تتناسبُ عكساً معَ مربع رتبةِ المدار n الذي يدورُ فيه الإلكترون، وتزدادُ طاقةُ الإلكترون بازديادِ رتبةِ المدار n أي مع ابتعاد الإلكترون عن النّواة.

الطّيوف الذّرّيّة

أتساءَلُ:

ما منشأُ الطّيوف؟ وما أنواعُها؟ وما الاختلافُ بينَ طيفٍ وآخرَ؟ وكيفَ نحصلُ على كلٍّ منهما؟

منشأ الطّيوف الذّرّيّة

توجدُ سويّاتُ طاقةٍ مُثارَة كثيرة في ذرّة الهدروجين، يُمكِنُ للإلكترون أن يشغلَ أيّ سويّة من هذه السّويّات، وأنّ انتقال الإلكترون من سويّة طاقية إلى سويّة طاقية أدنى يؤدّي إلى إصدار طاقةٍ (إشعاع) تُساوي فرقَ الطّاقة بينَ السّويّتَين، عندَ حصولِ انتقالاتٍ مُختلِفة بينَ سويّات الطّاقة سوفَ نحصلُ على إصداراتٍ بتواتُراتٍ مُختلِفة تُعطَى بالعلاقة: $\Delta E = E_2 - E_1 = h\,.\,f$

وعندَ تحليلِ حزمةٍ ضوئيَّةٍ صادرةٍ عن غاز الهدروجين المثار بالانفراغ الكهربائيّ سوفَ نجدُ أنّ الطّيفَ مُكوَّنٌ من عددٍ من الخطوط الطّيفيّة، كلٌّ من هذه الخطوط يُمثّلُ انتقالَ الإلكترون بينَ سويّتَين طاقيّتَين في ذرّة الهدروجين. ويوضِّحُ الشّكلُ التالي بعضَ الخطوط الطّيفيّة لذرّة الهدروجين في المجال المرئيّ.



يُمكِنُ إجراءُ دراسةٍ مُشابِهةٍ لذرّاتِ الموادّ شبيهةً بتلك التي أُجريَت لذرّةِ الهدروجين ولكن بحساباتٍ أكثرَ تعقيداً، توصِلُنا هذه الدّراسة إلى استنتاج تواتُرات الإصدارات النّاجمة عن الذّرّات.

أنواعُ الطّيوف

نشاط:

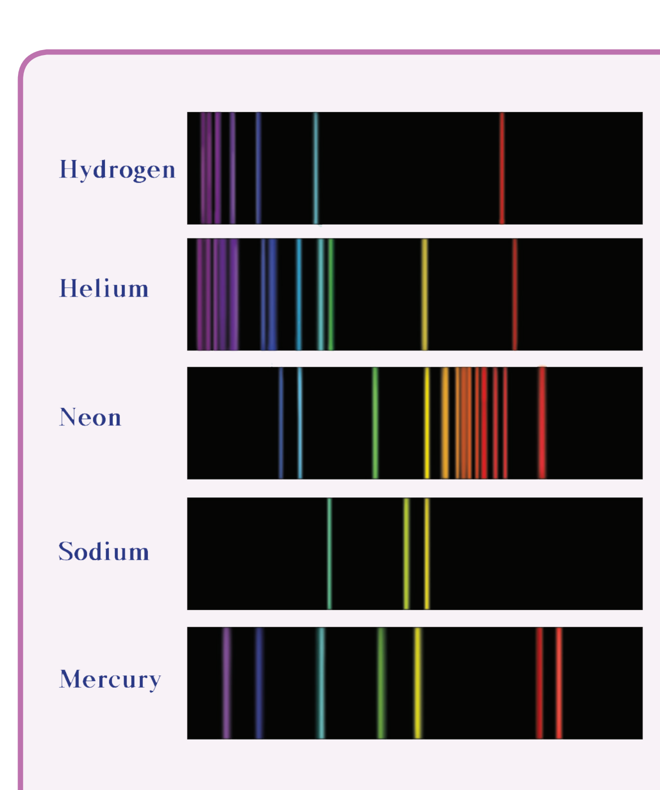
أدواتُ النّشاط:

صفيحةٌ من الحديد، سلكٌ من القصدير، ملحُ طعام، موشور زجاجيّ، حاجزٌ ذو شقٍّ للحصول على حزمةٍ مُتوازية، شاشة بيضاء، مِصباحٌ غازيّ يحوي غاز الهدروجين، موقد غولي.

خطوات تنفيذ النشاط:

- أسخِّنُ صفيحةَ الحديد بالتّدريج وأفحصُ الطّيفَ الصّادر باستخدام المِطياف، ماذا ألاحِظ؟
- أنثرُ قليلاً من ملح الطّعام فوقَ لهبِ موقدٍ غولي، وأفحصُ طيفَهُ بالمطياف، ماذا ألاحظ؟
- أمرِّرُ حزمةً من الضَّوء الصّادر عن المِصباح الغازي عبرَ الشّقّ في الحاجِز على الموشور.
- أتلقّى الحزمة المُنحرِفة بالموشور على الشّاشة البيضاء.
- ألاحظُ شكلَ ولونَ الطّيفِ على الشّاشة.
- أتساءَلُ هل يتغيَّرُ الطّيفُ بتغيير نوعِ الغاز في المِصباح.

أستنتج



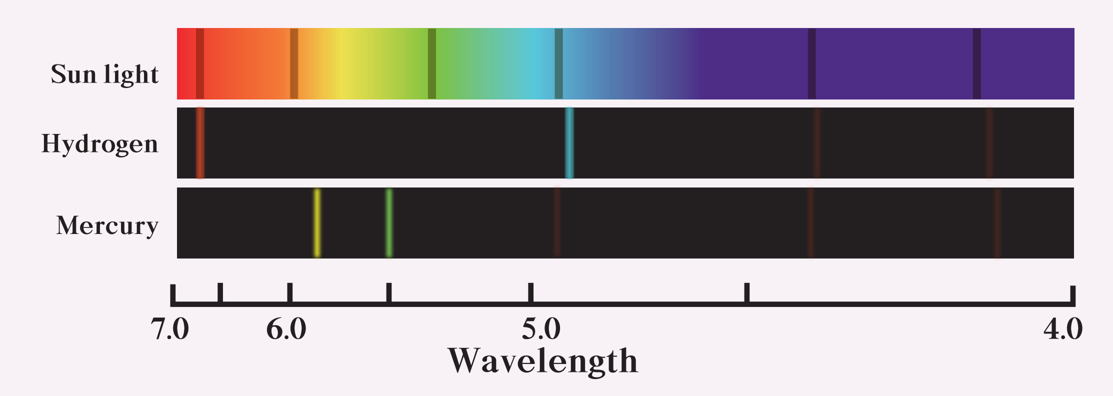
- يظهرُ أولاً اللّون الأحمر عندَ تسخين قطعة الحديد، وكلّما زادَت درجةُ الحرارة ظهرَ اللّون البرتقالي فالأصفر وهكذا، حتّى يصلَ الجسم المُسخَّن إلى درجة البياض فتظهر جميعُ ألوانِ الطّيف.
- تلوّن لهبُ الصّوديوم باللّون الأصفر الذّهبيّ، وعندَ فحصِه بالمِطياف أشاهدُ وجودَ خطّين أصفرَين مُتقاربَين جداً.
- إنَّ الصّوديوم لم يُشعَّ جميعَ ألوانِ الطّيف السّبعة، وإنّما انبعثَ منه خطانِ طيفيّانِ يقعانِ في منطقةِ الضَّوء الأصفر.
- يتكوَّنُ طيفُ الهدروجين المُثار بالانفراغ الكهربائيّ من عددٍ من الخطوط الطّيفيّة.
- يتغيَّرُ الطّيفُ المُتشكِّلُ بتغيُّرِ نوعُ الغاز داخلَ المِصباح.

- الطّيوف نوعان:

a. الطيوفُ المُستمِرّة: هي الطّيوفُ التي تظهُر فيها جميعُ ألوان الطّيف على هيئةِ مناطقَ مُتجاورةٍ من دونِ وجودِ فواصلَ بينَها، وهذا ما نلاحظُه عندَ تحلّلِ ضوءِ الشَّمس بالهواء المُشبَع بالرّطوبة، وتكوُّن قوسِ قُزح، حيثُ نجدُ عندَ تحليل الضّوء أنّ الطّيف مُستمِرّ، من الأمثلة على ذلكَ طيفُ مصباحِ الكهرباء ذو مقاومة التّنغستين، فإذا حلّلنا طيفَ هذا المصباح نجدُ أنَّ طيفَ الإصدار متّصلٌ، ويأخذُ شكلَ مُنحنٍ له قمَّةٌ بجوارِ طولِ الموجة 0.6 ميكرون.

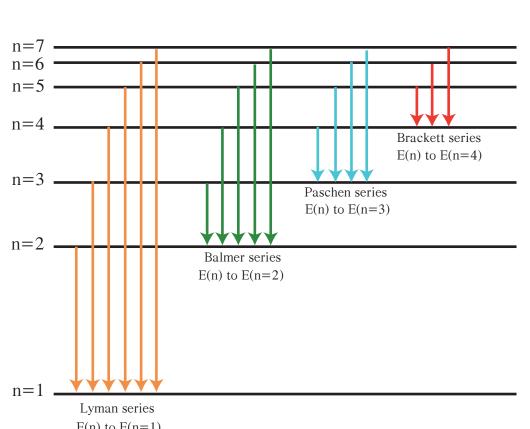
الطيف المحتمل

b. الطّيوفُ المُتقطّعة: مثل طيف إصدار ذرّات الهدروجين، يتكوَّنُ طيفُ الإصدار لهذه المنابع من خطوطٍ طيفيّة أو عصاباتٍ طيفيّةٍ مُنفصِلة، فبينَما نجدُ جميعَ ألوانِ قوسِ قزح في طيفِ مصباحِ التنغستين، فإنّنا نجدُ خطوطاً طيفيّة في طيفِ مصباحِ بخار الزّئبق، ولكن هذه الخطوط مُنفصِلة عن بعضِها البعض.
وبشكلٍ عام تكونُ طيوفُ المصابيحِ الغازيّة مُتقطّعةً وطيوفُ إصدارات الأجسام الصّلبة السّاخِنة متّصلة.
في الشّكل الآتي لدينا ثلاثةُ طيوفٍ؛ الأوّلُ مُستمِرٌّ وهو طيفُ الإصدارِ الشّمسيّ، والآخران مُتقطّعان



الطّيوفُ الذّرّيّة

الطّيفُ الذّرّيّ لعنصرٍ هو سلسلةُ التّواتُرات الضّوئيّة الصّادرة عن ذرّات هذا العنصر، وأبسطُ أنواع الطّيوف الذّرّيّة هو طيفُ ذرَّة الهدروجين.
السّلسلة الواحدة (الطّيف الذّرّيّ) تحتوي على عددٍ من التّواتُرات، والتّواتُرُ الأكثرُ كثافةً يغلبُ لونُه على السّلسلة، مثل الطّيف الذّرّيّ لبخار الصّوديوم الذي يحتوي على تواتُرَين كثافتُهما عالية ويميلُ لونُهما للبرتقالي.



يحتوي الطّيفُ الخطّي للهيدروجين على عدد من السّلاسل هي:

أولاً: سلسلة ليمان (أكبر سلاسل الطّيف طاقةً)

نحصلُ عليها عندَ عودة إلكترون ذرّة الهدروجين من السّويّات العليا أي $(n = 2, 3, 4, 5, 6....)$ إلى السّويّة الأولى.

ميزاتُها: أنّها أمواجٌ ضوئيّةٌ غيرُ مرئيّةٍ بسببِ تواتُرِها الكبير، وأطوالُها المَوجيَّة أقصرُ من الأطوال المَوجيَّة للضّوء المرئيّ.

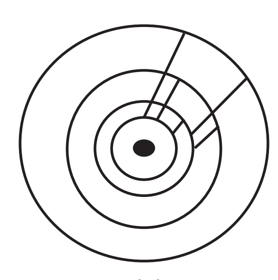
ثانياً: سلسلة بالمر

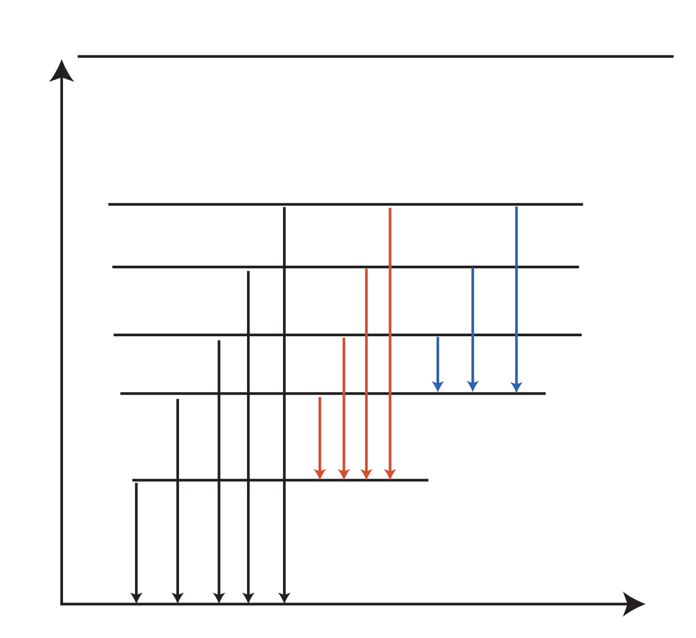
نحصلُ عليها عندَ عودةِ إلكترون ذرَّة الهدروجين من السّويّات العليا أي $(n = 3, 4, 5, 6....)$ إلى السَّويّة المُثارة الأولى.

ميزاتُها: أنّها أمواجٌ ضوئيّةٌ يُمكِنُ مشاهدتها وقياسها في المُختبَر.

ثالثاً: سلسلة باشن

نحصلُ عليها عندَ عودةِ إلكترون ذرَّة الهدروجين من السَّويّات العليا أي $(n = 4, 5, 6....)$ إلى السَّويّة المُثارة الثّانية الثالث.





ومن ميزاتِها أنَّها أمواجٌ ضوئيّةٌ غيرُ مرئيّةٌ بسببِ تواترِها المُنخفِض.

التَّحليل الطّيفيّ

يلجأُ علماءُ الكيمياء في المُختبَرات وعلماءُ الفلك الّذين يراقبونَ النّجومَ إلى استخدامِ تقانات التَّحليل الطّيفيّ لكشفِ ما يُحلِّلونَه، ومعرفة تركيبه الكيميائيّ.

تعتمدُ تقاناتُ التَّحليل الطّيفيّ للموادّ على امتصاصِ أو إصدارِ ذرّاتها للطّاقة، فالمعادنُ مثلاً تتوهَّج، أو تُصدِرُ ضوءاً عندَ تسخينها إلى درجاتِ حرارةٍ عاليةٍ، ويتحلّلُ الضَّوءُ الصّادرُ عندَ إمراره عبر موشورٍ زجاجيّ، إلى مكوناتِه من إشعاعاتٍ مُلوَّنةٍ ذاتِ أطوالٍ مَوجيّةٍ مُختلِفة، تُشكِّلُ في مجموعِها طيفاً خطيّاً مميّزاً للمعدنِ المدروس.

يُعزَى تُشكِّلُ هذا الطّيف إلى حركة الإلكترونات الخارجيّة في الذرّات المُعتبرة التي تمتصُّ طاقةً تُثارُ بها، فترتقي إلى سويّات طاقيّة أعلى من التي كانَت تشغلُها، إلاّ أنّها لا تلبثُ أن تعودَ إلى السّويّات الطّاقية الأساسيّة التي كانَت تشغلُها، مُصدرةً فائضَ طاقتِها على شكلِ إشعاعٍ وحيدٍ أو مجموعةٍ من الإشعاعاتِ المُتتالِية، وتُعدُّ تواتُراتُ هذه الإشعاعات، أو أطوالُها المَوجيّة مُميّزة للعنصرِ المعنيّ ويُمكِنُ استخدامُها للتّعرُّف عليه.

إثراء:

يختلفُ طيفُ الهدروجين عن أطيافِ العناصرِ الكيميائيّة الأخرى، مثل الكربون والهليوم والزّئبق والحديد وغيرها، أي يختلفُ توزيعُ خطوط الطّيف التي نستطيعُ قياسَها عمليّاً عندَ تسخين أو حرق العيّنة، وتوزيعُها يُعطينا نوعَ عنصرِ العيّنة، إذ لكلِّ عنصرٍ "بصمة" من خطوط الطّيف خاصّة به.



تعلَّمتُ

- استخدمَ بور تكميمَ الضَّوء لشرحِ الطّيوفِ الذّرّيّة.
- وضعَ المبادئَ الآتية:
1. إنّ تغيّر الطّاقة مكمم.
2. لا توجدُ الذّرّةُ إلّا في حالةِ طاقيةٍ مُحدَّدة.
3. عندما ينتقلُ إلكترون في ذرّةٍ مُثارَة من سويّةٍ أعلى (عُليا) إلى سويّةٍ أدنى (دنيا) فإنَّ الذَّرّة تُصدِرُ فوتوناً طاقتُه: $\Delta E = E_2 - E_1 = h\,f$
- الفرض الأوّل:

حركةُ الإلكترون حولَ النّواة دائريّة مُنتظَمة، أي $E = -k\frac{e^2}{2r} \ldots\ldots\ldots (5)$

وهي علاقةُ الطّاقة الميكانيكيّة لإلكترون ذرّة الهدروجين في مداره.

- الفرض الثاني:

اقترحَ بور أنّ هناكَ مداراتٍ مُحدَّدةً ذاتَ أنصافِ أقطارٍ مُختلِفة يُمكِنُ لإلكترون ذرّة الهدروجين أن يدورَ فيها حولَ النّواة، وفي أيّ منها عزمُ كميّة الحركةِ للإلكترون من المُضاعَفات الصّحيحة لـ $\frac{h}{2\pi}$

أي أنّ العزمَ الحركيّ للإلكترون يُعطَى بالعلاقة: $m_e\, v\, r = n\frac{h}{2\pi} \ldots\ldots\ldots (6)$

- الفرض الثالث:

لا يُصدِرُ الإلكترون طاقة طالما بقيَ مُتحرِّكاً في أحدِ مداراتِه حولَ النّواة، لكنّه يمتصُّ طاقةً بكمّياتٍ مُحدَّدة عندما ينتقلُ من مداره إلى مدارٍ أبعدَ عن النّواة، ويُصدِرُ طاقة بكمّياتٍ مُحدَّدةٍ عندما ينتقلُ من مداره إلى مدارٍ أقربَ إلى النّواة تُحسَب بالعلاقة: $\Delta E = h\,.\,f$



أختبر نفسي

أولاً: اخترِ الإجابةَ الصَّحيحة لكلٍّ ممَّا يأتي:

1. عندما ينتقلُ الإلكترون من سويّة طاقيةٍ أقرب للنّواة إلى سويّة طاقيةٍ أبعد عن النّواة فإنّه:

a. يمتصُّ طاقة. b. يُصدِرُ طاقة. c. يحافظ على طاقته. d. تنعدم طاقته.

2. عندَما ينتقلُ الإلكترون من سويّة طاقيةٍ ما في الذّرّة إلى اللّانهاية فإنّه:

a. يقترب من النّواة b. يُصدِرُ طاقة c. يحافظ على طاقته d. يصبح ذو طاقة معدومة

3. بابتعادِ الإلكترون عن النّواة فإنَّ طاقتَه:

a. تزدادُ. b. تنقصُ. c. لا تتغيّرُ. d. تنقصُ ثمّ تنعدمُ.

4. تنشأ الطّيوفُ الذّرّيّة نتيجة انتقال:
a. الإلكترون من سويّة طاقيةٍ إلى سويّة طاقيةٍ أخفض.
b. الإلكترون من سويّة طاقيةٍ إلى سويّة طاقيةٍ أعلى.
c. البروتون خارجَ الذّرّة.
d. الإلكترون إلى النّواة.

5. نقدّمُ طاقةً للذّرّة على شكلِ إشعاعٍ مُتواصِل فتُثارُ الذّرّة لأنّها:
a. تمتصُّ كاملَ الطّاقة المُقدّمة.
b. لا تمتصُّ أيّةَ طاقة.
c. تمتصُّ جزءاً من طاقة الإشعاع مُطابقاً لفرقِ الطّاقة بينَ سويّتَين مُختلِفتَين.
d. تمتصُّ جزءاً من طاقةِ الإشعاع.

ثانياً: حلّ المسائل الآتية:

المسألةُ الأولى:

بفرضِ أنَّ نصفَ قطرِ الإلكترون على مدارِه في ذرّة الهدروجين $(r = 0.53 \times 10^{-10}\,\text{m})$، (وبإهمالِ قوى التّجاذُب الكتلّيّ بينَ البروتون و الإلكترون)

المطلوب:

1. احسب قوّة التّجاذُب الكهربائيّ بينَ البروتون والإلكترون.
2. احسب سرعة دورانِ الإلكترون الخطّيّة على مدارِه السّابق، هل يجبُ أن نأخذَ في الاعتبار تغيُّر كتلةِ الإلكترون وفق النّظريّة النّسبيّة؟.
3. احسب تواتُر دورانِ الإلكترون.

(كتلةُ الإلكترون $m_e = 9.1 \times 10^{-31}\,\text{kg}$ ، شحنةُ الإلكترون $e = -1.6 \times 10^{-19}\,\text{C}$ سماحيّة الخلاء الكهربائيّة $\varepsilon_0 = \dfrac{1}{36\pi \times 10^9}$)

المسألةُ الثّانية:

احسب الطّاقةَ المُتحرِّرةَ وطولَ موجةِ الإشعاع الصّادر عندَما يهبطُ إلكترون من السّويّة الثّالثة ذات الطّاقة $E_3 = -1.51\,\text{ev}$ إلى السّويّة الثّانية ذات الطّاقة $E_2 = -3.4\,\text{ev}$ ثابت بلانك $h = 6.63 \times 10^{-34}\,\text{J.s}$

المسألةُ الثالثة:

تتألّفُ ذرّة الهدروجين من بروتون وإلكترون، تُعطَى سويّات الطّاقة لذرّة الهدروجين بالعلاقة: $E_n = -\dfrac{13.6}{n^2}\,\text{eV}$
حيثُ n هو عددٌ صحيحٌ موجبٌ.
في السّويّة ذاتِ الطّاقة الأخفض لدينا $n = 1$ ، وفي سويّةِ الطّاقة المُثارة الأولى لدينا $n = 2$ وهكذا، عندَما تسعى n إلى اللانهاية نجدُ الحالة المُتأينة أي الّتي تخسرُ فيها ذرّةُ الهدروجين إلكترونَها.

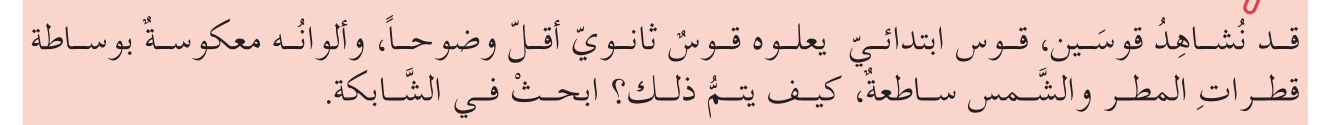
المطلوبُ:

1. احسبِ النّسبة بينَ قوّة الجاذبيّة الأرضيّة المُؤثّرة في الإلكترون، والقوّة التي تجذبُ بها النّواةُ الإلكترونَ علماً أنّ المسافةَ بينَ الإلكترون والبروتون هي $a = 5.9 \times 10^{-11}\ \text{m}$، ماذا تستنتجُ؟
علماً أنّ: شحنة الإلكترون $e = 1.6 \times 10^{-19}\ \text{C}$، ثابِت الجذب الكهربائيّ $k = 9 \times 10^{-9}\ \text{m.F}^{-1}$، ثابِت الجاذبيّة الكونيّ $G = 6.67 \times 10^{-11}\ \text{m}^3.\text{kg}^{-1}.\text{s}^{-2}$، كتلة البروتون $m_p = 1.67 \times 10^{-27}\ \text{kg}$، كتلة الإلكترون $m_e = 9.1 \times 10^{-31}\ \text{kg}$، سرعة انتشار الضّوء في الخلاء $c = 3 \times 10^{8}\ \text{m.s}^{-1}$
2. ما قيمةُ الطّاقة في السّويّة الأساسيّة؟
3. ارسم مُخطّطاً لطاقةِ السّويّات الخمس الأولى.
4. تتواجَدُ الذّرّة في البداية في حالتِها الأساسيّة، تمتصُّ هذه الذّرّة فوتون بتواتُر $f = 2.91 \times 10^{15}\ \text{Hz}$، احسُبِ الرّقم n للسّويّة التي تتواجدُ فيها الذّرّة بعدَ الامتصاص.

تفكير ناقد

إنّنا جميعاً نشاهدُ الألوانَ الجميلةَ في قوسِ قزح الذي يتكوّنُ من الألوان نفسِها التي يحويها الطّيفُ المرئيُّ للضّوءِ الأبيض، كيفَ تفسّرُ ذلكَ؟

أبحث أكثر



قد نُشاهِدُ قوسَين، قوس ابتدائيّ يعلوه قوسٌ ثانويّ أقلّ وضوحاً، وألوانُه معكوسةٌ بوساطة قطراتِ المطر والشّمس ساطعةٌ، كيف يتمُّ ذلك؟ ابحثْ في الشّابكة.

2 انتزاعُ الإلكتروناتِ وتسريعُها

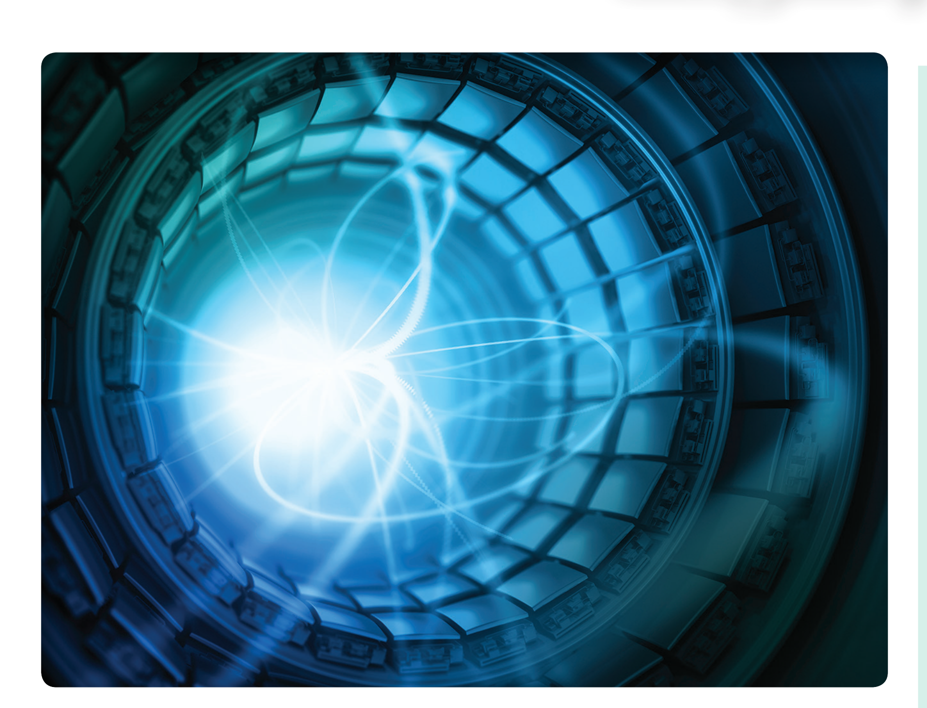


الأهداف:

* يستنتِجُ علاقةَ انتزاعِ إلكترون حرٍّ من سطح مَعدنٍ.
* يشرحُ طرائقَ انتزاعِ الإلكترونات.
* يستنتِجُ علاقةَ سرعة خروج إلكترونٍ، سرعتُه الابتدائيّة معدومةٌ من حقلٍ كهربائيّ مُنتظَم.
* يستنتِجُ معادلةَ حامل مَسار الإلكترون في حقلٍ كهربائيّ مُنتظَم، سرعتُه الابتدائيّة عموديّةٌ على خطوط الحقل.

الكلمات المفتاحية:

* طبقة.
* مدار.
* حالة.
* القوّة الكهربائيّة.
* طاقة ارتباط.
* انتزاع الإلكترون.
* مفعولُ الحتّ.
* المفعول الكهرضوئيّ.
* المفعول الكهرحراريّ.
* تسريع الإلكترون.



هل حاولتَ يوماً تفسيرَ أيٍّ ممَّا يأتي:

- على الرَّغم من أنَّ مُحصِّلةَ القوى المُؤثِّرة على الإلكترونِ الحرّ داخلَ المعدن تكونُ معدومةً تقريباً فإنَّه لا يتمكَّنُ من مُغادَرة سطحِ هذا المعدن؟
- يتمُّ اقتلاعُ إلكتروناتٍ من سطحِ المعدن، عندَما تسقطُ عليه حزمٌ من أشعةٍ مَوجيّة أو جسيمةٍ بطاقاتٍ مُناسِبة، وكذلك عندَ رفع درجة حرارته؟
- عندَ تطبيقِ حقلٍ كهربائيّ على إلكترونٍ فإنَّه يؤدّي إلى تغيُّرِ سرعته.

"تتواجدُ الإلكتروناتُ في الذَّرّة في حالةِ حركةٍ دائمةٍ حولَ نواتِها، ولكن لا يُمكِنُ تحديدُ موضعِ أو سرعةِ أيٍّ من هذه الإلكترونات في لحظةٍ ما وبدقّةٍ، وإنّما يُمكِنُ تحديدُ احتمالِ وجودِ الإلكترون في لحظةٍ ما في موضعٍ مُعيّن".

طاقةُ انتزاع إلكترون من سطح معدن:

يتحرَّكُ الإلكترونُ الحرُّ داخلَ المعدَن بسرعةٍ وسطيّةٍ تتعلَّقُ بدرجةِ حرارةِ المعدن، ويكونُ خاضِعاً لقوى جذبٍ كهربائيٍّ، مُحصِّلتها قريبةٌ من الصّفر لأنَّها تنتجُ عن الأيوناتِ الموجبةِ المُبعثَرة حولَه بعشوائيّة دونَ تفضيلٍ لاتّجاه على آخر. لكن من الواضح أنّه من أجلِ إلكترونٍ واقع على سطح المعدن يصبحُ لهذه القوى الجاذِبةِ مُحصّلة مُختلِفة عن الصّفر وجهتها دوماً نحوَ داخلِ المعدن، لأنَّ الأيوناتِ الموجبة تتوزَّعُ بالنّسبة لمثل هذه الإلكترون في الجهة الدّاخليّة من المعدن فقط. وعليه فإنَّ انتزاعَ إلكترونٍ من سطح معدنٍ يحتاجُ إلى صرفِ طاقةٍ، تسمَّى الطّاقة الدّنيا اللّازمة لانتزاع إلكترونٍ من سطح معدنٍ بطاقةِ الانتزاعِ لهذا المعدن، يرمزُ لطاقة الانتزاع بالرَّمز w_s تتعلّقُ قيمةُ طاقة الانتزاع لمعدن بمُتحوِّلات المعدن: العدد الذّرّيّ z، كثافة المعدن، طبيعة الرّوابط،...، ونتيجةُ اختلاف هذه المُتحوّلات من معدنٍ لآخرَ، تختلفُ قيمةُ طاقة الانتزاع من معدنٍ لآخرَ بحيثُ يُمكِنُ اعتبارُ قيمتِه خاصّيّة مُميّزة للمعدن، ولقد تمَّ التحقق من ذلك تجريبياً. ويظهر الجدول (1) توابع العمل المقاسة تجريبياً لبعض المعادن:

الجدول (1): توابع العمل لبعضِ المعادن

رمز المعدن	Na	Al	Cu	Zn	Ag	Pt	Pb	Fe
طاقة الانتزاع $W_s(eV)$	2.16	4.08	4.7	4.31	4.73	6.35	4.14	4.5

- لانتزاع إلكترون حرٍّ من سطح معدنٍ ونقلِه مسافةً صغيرة dl خارجَ المعدن يجبُ تقديمُ طاقةٍ أكبرَ من عملِ القوّة الكهربائيّة التي تجذبُ الإلكترون نحوَ داخلِ المعدن.

وبالتالي: $W_s = F\,dl$

لكن: $F = e\,E$

نعوّضُ فنجدُ: $W_s = e\,E\,dl$

لكن: $E\,dl = U_s$

وبالتالي يكونُ: $E_s = W_s = e\,U_s$

حيثُ إنّ: E_s : طاقة الانتزاع.

W_s : عمل الانتزاع.

U_s: فرق كمون الانتزاع بينَ سطح المعدنِ والسّطح الخارجيّ.

E : الحقل الكهربائيّ المُتولد عن الأيوناتِ الموجبةَ عندَ سطحِ المعدن.

مُناقَشة:

بفرضِ E الطّاقة التي يمتصُّها الإلكترون (الطّاقة المُقدّمة للإلكترون) ونميّزُ الحالاتِ الآتية:

1. إذا كانَت $E < E_s$: لا ينتزعُ الإلكترون ويبقى مُنجذباً نحوَ داخلِ الكتلة المعدنيّة.
2. إذا كانَت $E = E_s$: يتحرّرُ الإلكترون من سطح المعدن بسرعةٍ ابتدائيّةٍ معدومةٍ.
3. إذا كانَت $E > E_s$: يتحرّرُ الإلكترون من سطح المعدن ومعَه سرعةٌ ابتدائيّة تُحسَب من العلاقة:

$$E_k = E - E_s$$

$$\frac{1}{2} m_e v^2 = E - E_s$$

$$v = \sqrt{\frac{2\,(E - E_s)}{m_e}}$$

طرقُ انتزاعِ إلكترونٍ من سطحِ معدنٍ:

1. الفعلُ الكهرضوئيّ:

تُقدَّمُ الطّاقةُ اللّازمةُ لانتزاعِ الإلكترونِ من سطحِ المعدنِ على شكلِ طاقةٍ ضوئيّةٍ تواتُرُها كافٍ وتُعطى بالعلاقة: $E = h\,f$

2. الفعلُ الكهرحراريّ:

تُقدِّمُ الطّاقةُ اللّازمةُ لانتزاعِ الإلكترون على شكلِ طاقةٍ حراريّةٍ حيثُ يسخنُ المعدن، فتكتسِبُ بعضَ إلكتروناتِه السَّطحيّة قدراً كافياً من الطّاقةِ تزيدُ من سرعتِها وحركتِها وتنبعثُ خارجَ المعدن.

3. مفعولُ الحتّ:

يقذَفُ سطحُ المعدنِ بحزمةٍ من الجُسيماتِ ذاتِ الطّاقةِ الكافيةِ فيؤدّي ذلك إلى تصادُمِ بعضِ جُسيماتِ هذهِ الحزمةِ معَ الإلكتروناتِ الحرّة في السّطحِ المعدنيّ، وتؤدّي هذهِ العمليّة إلى انتقالِ جزءٍ من طاقةِ الجُسيمِ الصّادمِ إلى الإلكترونِ، وعندما يكونُ هذا الجزءُ المُنتقِلُ أكبرَ أو يساوي طاقة الأنتزاع يُمكِنُ للإلكترون الحرِّ الواقعِ عندَ سطحِ المعدن أن يقتلعَ من هذا المعدن.

مثال محلول:

يُقذَفُ سطحُ معدنٍ له طاقةُ انتزاع $W_d = 2\,ev$ بحزمةٍ من الإلكتروناتِ فيؤدّي ذلكَ إلى إصدارِ إلكتروناتٍ من سطحِ المعدنِ بسرعةٍ ابتدائيّةٍ مقدارُها $v' = 5.9\times10^5\ \text{m.s}^{-1}$، فبفرضِ أنّ الإلكترونَ السَّطحيّ قد امتصَّ كاملَ طاقةِ الإلكترون السَّاقط. احسب طاقةَ كلٍّ من إلكترونِ الحزمةِ السَّاقطة وسرعتَه إذا علِمتَ أنّ $m_e = 9\times10^{-31}\ \text{kg}$، $e = 1.6\times10^{-19}\ \text{C}$.

الحلّ:

يجبُ أن تكونَ طاقةُ كلٍّ من هذه الإلكترونات السّاقِطة مُساويةً للطّاقة الحركيّة الابتدائيّة للإلكترون المُقتلَع مُضافاً لها طاقةَ الانتزاع، أي:

$$E_k = \frac{1}{2} m_e v'^2 + W_d$$

$$W_d = 2\,\text{eV}$$

$$W_d = 2\times1.6\times10^{-19}$$

$$W_d = 3.2\times10^{-19}\ \text{J}$$

نعوِّض:

$$E = \frac{1}{2}\times9\times10^{-31}\,(5.9\times10^5)^2 + 3.2\times10^{-19}$$

وهي طاقةُ الإلكترون السَّاقِط:

$$E_k = 4.8\times10^{-19}\ \text{J}$$

حسابُ السُّرعة:

$$E_k = \frac{1}{2} m_e v^2$$

$$v = \sqrt{\frac{2E_k}{m_e}}$$

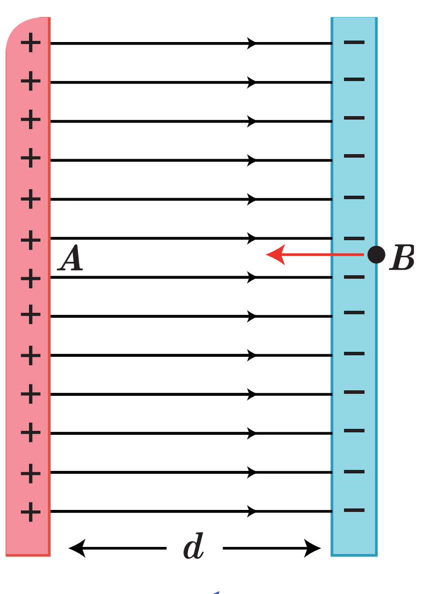
$$v = \sqrt{\frac{2\times4.8\times10^{-19}}{9\times10^{-31}}}$$

$$v = 1.04\times10^6\ \text{m.s}^{-1}$$

تسريعُ الإلكترونات في منطقة حقل كهربائيّ مُنتظم:

تتطلّبُ مُعظَم التَّجارب الّتي تستخدمُ حزماً إلكترونيّة، إلكتروناتٍ ذاتِ سرعاتٍ عالية نسبيّاً، وبالمُقابِل تكونُ سرعةُ الإلكتروناتِ المُقتلَعةِ من سطوح المعادنِ صغيرةً بصورةٍ عامّة، لذلكَ لابدَّ من زيادةِ سرعتِها ويتمُّ ذلكَ عن طريقِ إخضاعِها لحقولٍ كهربائيّةٍ ساكنةٍ.

نشاط:



تسريع الإلكترون في حقل كهربائي منتظم

نفرضُ إلكتروناً، شحنتُه e، وكتلتُه m_e، ساكناً في نقطةٍ من منطقةٍ يسودُها حقلٌ كهربائيٌّ مُنتظَم بينَ لبوسَي مُكثِّفةٍ مستويةٍ مشحونةٍ، لبوساها شاقوليّان.

- ما جهةُ شعاعِ الحقلِ الكهربائيّ.
- اكتُب عبارةَ هذا الحقلِ.
- ما القوّةُ التي يخضعُ لها الإلكترون؟ وما عناصِرُها؟
- إلى أيِّ لبوسٍ يتّجهُ الإلكترون.

تخضعُ الشّحنةُ الكهربائيّةُ النّقطيّةُ e عندَ وضعِها في حقلٍ كهربائيٍّ ساكنٍ $\vec{E}$ لقوةٍ كهربائيّةٍ $\vec{F}$ تُعطَى بالعلاقةِ:

$$\vec{F} = q\,\vec{E} = m\,\vec{a}$$

يُعتبَرُ الإلكترونُ الشّحنةَ الأكثرَ تحقيقاً لتعريفِ الشُّحنة النّقطيّة، وذلكَ لأنّه أصغرُ شحنةٍ موجودةٍ في الطّبيعة وامتدادُه الفراغيّ نقطيٌّ، لذلك يُمكِنُ القولَ إنَّ الإلكترونَ هو أفضلُ الشُّحن التي تنطبقُ عليها العلاقتانِ السّابقتان، بالإضافةِ لبقيّة علاقاتِ الشّحن النّقطيّة.

لنستنتجَ العلاقةَ المُحدَّدة لسرعةِ خروجِ الإلكترونِ من نافذةٍ مُقابِلة في اللّبوس المُوجِب؟

جملةُ المُقارَنة: خارجيّة

الجملةُ المدروسة: الإلكترون داخلَ منطقة الحقل الكهربائيّ بإهمالِ ثقلِه

القوى الخارجيّة المُؤثِّرة:

$\vec{F}$: القوّة الكهربائيّة حيثُ لها حاملُ $\vec{E}$ وتعاكسُه بالجهة وشدّتُها ثابتة $F = e\,E$

لكن:

$$E = \frac{U}{d}$$

نعوّض:

$$F = e\,\frac{U}{d}$$

بحسبِ قانون نيوتن الثّاني: $F = m_e\,a$

بمُساواةِ العلاقتَين السّابقتَين:

$$a = \frac{e\,U}{m_e\,d} = \text{const}$$

بما إنَّ الحركةَ بدأَت من السُّكون، والتّسارُع ثابتٌ، فالحركةُ مُستقيمةٌ مُتسارِعةٌ بانتظام.

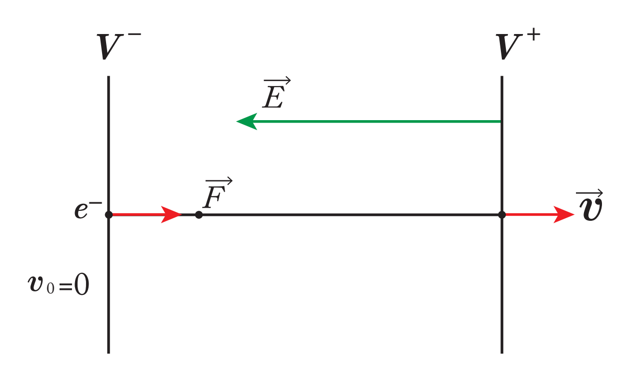
عندَ وصولِ الإلكترون إلى نافذةِ اللّبوس الموجب فإنَّ: $x = d$

$$v^2 - v_0^2 = 2\,a\,x$$

نعوِّضُ:

$$v^2 - 0 = 2\,\frac{e\,U}{m_e\,d}\,d$$

$$v = \sqrt{2\,\frac{e\,U}{m_e}}$$



نتائج:

1. **يُمكِنُ زيادة سرعةِ خروج الإلكترون من نافذة اللّبوس الموجِب بزيادةِ فرقِ الكمون بينَ اللّبوسَين.**
2. **تصلحُ العلاقةَ السّابقة من أجلِ السّرعات الصّغيرة للإلكترون بالنّسبة لسرعةِ الضّوء لأنَّ الكتلةَ يُمكِنُ اعتبارها ثابتةً عندَئذٍ.**

أمّا من أجلِ السّرعاتِ الكبيرة للإلكترون القريبة من سرعةِ الضَّوء فلا تصلحُ العلاقة السَّابقة لأنَّ كتلةَ الإلكترون تزدادُ بصورةٍ ملموسةٍ كما مرَّ معنا في درسِ النّظريةِ النّسبيّةِ الخاصّة لآينشتاين.

تأثيرُ حقلٍ كهربائيٍّ مُنتظَمٍ على إلكترون يدخلُ منطقةَ الحقل بسرعة $\vec{v} \perp \vec{B}$

نفرضُ إلكتروناً يتحرَّكُ بسرعةٍ $\vec{v}$ ليدخلَ بينَ اللّبوسَين الأفقيّين مشحونة حيثُ $\vec{v} \perp \vec{B}$ لندرسَ حركةَ هذا الإلكترون، ثمَّ نستنتجُ مُعادَلةَ حامِل المسار؟

جملةُ المُقارَنة: خارجيّة.

الجملةُ المدروسة: الإلكترونُ داخلَ منطقةِ الحقل الكهربائيّ المُنتظَم بإهمال ثِقله القوى الخارجيّة المؤثِّرة:

$\vec{F}$: القوّة الكهربائيّة حيثُ $\vec{F} = e\,\vec{E}$

لها حاملُ $\vec{E}$ وتعاكسُه بالجهة وشدّتُها ثابتة

$$\sum \vec{F} = m_e\,\vec{a}$$

نطبّقُ العلاقةَ الأساسيّة في التّحريك: $\vec{F} = e\,\vec{E} = m_e\,\vec{a}$

باعتبار:
مبدأ الفَواصِل نقطة دخولِ الإلكترون منطقةَ الحقل الكهربائيّ المُنتظّم.
مبدأ الزّمن لحظةَ دخولِ الإلكترون مِنطقةَ الحقلِ الكهربائيّ المُنتظَم.
بالإسقاطِ على محورَين مُتعامِدَين $\overrightarrow{x'x}$ أفقياً و $\overrightarrow{y'y}$ شاقوليّاً مُوجّهاً نحوَ الأعلى

$$\overrightarrow{ox}\begin{cases} v_{ox} = v_o = v \\ F_x = 0 \Longrightarrow a_x = 0 \Longrightarrow v_x = \text{const} \end{cases}$$

إنَّ حركةَ المسقط على $\overrightarrow{x'x}$ هي حركةٌ مُستقِيمةٌ مُنتظَمةٌ $x = v_x t + x_o$
لكن $x_o = 0$

$$x = v\,t.........(1)$$

$$\overrightarrow{oy}\begin{cases} v_{oy} = 0 \\ F_y = F \Longrightarrow m_e a_y = e\dfrac{U}{d} \\ \Longrightarrow a_y = \dfrac{e\,U}{m_e d} = \text{const} \end{cases}$$

$\Longleftarrow$ حركةُ المسقَط على $\overrightarrow{y'y}$ هي حركةٌ مُستقيمةٌ مُتسارِعةٌ بانتظام:

$$y = \frac{1}{z} a_y + t^2 + v_{oy} t + y_0$$

$$y_o = 0$$

$$\Longrightarrow y = \frac{e\,U}{2\,m_e d}\,t^2...........(2)$$

استنتاجُ مُعادَلة حامِل المَسار:
من (1): $t = \dfrac{x}{v}$

نعوِّضُ في (2): $y = \dfrac{e\,U}{2\,m_e\,d\,V^2}\,x^2$

المسارُ محمولٌ على جزءٍ من قطعٍ مُكافِئ.

تعلَّمتُ

- **لانتزاع إلكترونٍ حرٍّ من سطح معدنٍ ونقلِه مسافةً صغيرة dl خارجَ المعدنِ يجبُ تقديمُ طاقةٍ أكبرَ من عملِ القوّة الكهربائيّة التي تجذبُ الإلكترون نحوَ داخلِ المعدن.**
- **طُرقُ انتزاعِ إلكترونٍ من سطحِ معدنٍ:**
  1. **الفعل الكهرضوئيّ.**
  2. **الفعل الكهرحراريّ.**
  3. **مفعول الحتّ.**
- **يتمُّ زيادةُ سرعةِ الإلكتروناتِ عن طريقِ إخضاعِها لحقولٍ كهربائيّةٍ ساكنة أو حقول مغناطيسيّة ساكِنة أو كليهما معاً.**



أختبر نفسي

أولاً: أجِبْ عن الأسئلة الآتية:

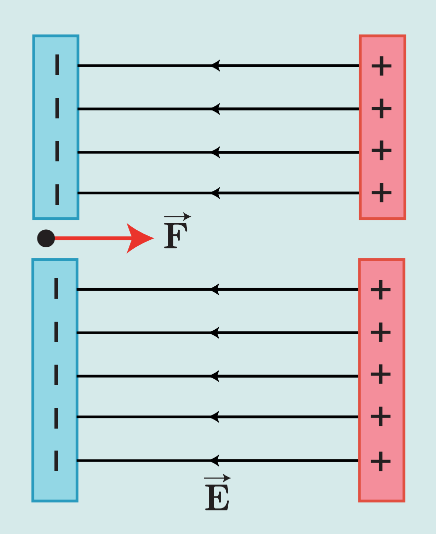
1. هل يُمكِنُ أن نحدِّدَ بدقّةٍ موقعَ الإلكترون في لحظةٍ ما؟
2. هل تختلفُ طاقةَ انتزاعِ إلكترونٍ من سطحِ مَعدن عن طاقةِ انتزاعِه من الذَّرّة؟ ولماذا؟
3. هل يكفي الإلكترون الواقع على سطحِ معدنٍ، امتلاكَه لطاقةٍ مُساويةٍ لطاقةِ الانتزاع لهذا المعدن كي يتحرَّرَ؟

ثانياً: اخترِ الإجابةَ الصَّحيحة في كلّ ممّا يأتي:

1. يمتصُّ الإلكترونُ طاقةً عندَما:
   - a. ينتقلُ من مدارٍ إلى آخرَ ضمنَ نفس السّويّة.
   - b. يهبطُ إلى سويّةٍ أقربَ إلى النّواة.
   - c. يقفزُ من سويّةٍ أدنى (دنيا) إلى سويّةٍ أعلى (عليا).
   - d. عندَما يسقطُ على النّواة.
2. يتحرَّرُ الإلكترونُ من سطح معدنٍ بشكلٍ مؤكَّد عندَ:
   - a. حصوله على طاقةٍ أكبرَ أو تُساوي طاقةَ الانتزاع لهذا المَعدن.
   - b. رفع درجةِ حرارةِ المعدن إلى درجةٍ أعلى أو تُساوي تلكَ المُكافِئة لطاقةِ الانتزاع لهذا المَعدن.
   - c. حصوله على طاقةٍ أكبرَ أو تُساوي طاقةَ الانتزاعِ بشكلٍ مُتزامِنٍ معَ كونِ جهةِ حركتِه نحوَ الخارج.
   - d. تحقّق c بالإضافة لعدم اصطدامِه بأيّ جُسيمٍ أثناءَ خروجِه من السّطح.

ثالثاً: حُلَّ المَسألتَين الآتيتَين:

المسألةُ الأولى:



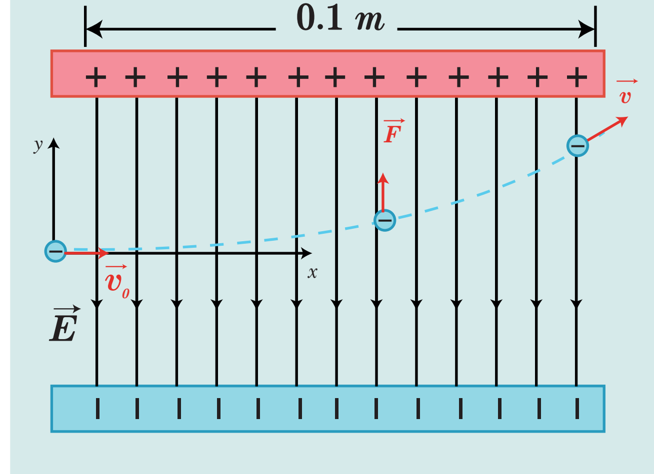
ينطلِقُ إلكترون بسرعةٍ ابتدائيَّةٍ معدومةٍ من فتحةٍ في اللّبوس السّالب لمُكثِّفة ليخرج من الفتحة المُقابِلة في اللّبوس المُوجب كما في الشَّكل جانباً فإذا علِمْتَ أنَّ فرقَ الكمون بينَ لبوسَي المُكثِّفة هو $10^3\ v$ والمسافة بينَهما $(1\,\text{cm})$

المطلوب:

احسب سرعةَ وتسارعَ هذا الإلكترون لحظةَ خروجه من المُكثّفة

$e = 1.602 \times 10^{-19}\ \text{C} \quad , \quad m_e = 9.1 \times 10^{-31}\ \text{kg}$

المسألةُ الثّانية:



يدخلُ إلكترون بسرعةٍ ابتدائيّة $v_0 = 3 \times 10^6\ \text{m.s}^{-1}$ إلى منطقة يسودُها حقلٌ كهربائيٌّ مُنتظَم بشكل تتعامدُ فيه سرعةُ هذا الإلكترون معَ خطوطِ الحقل كَما في الشَّكل جانباً، فإذا علمَت أنَّ شدَّة هذا الحَقل هي $200\ \text{V.m}^{-1}$، وطول كلٍّ من لبوسَي المُكثِّفة المُستوية المولّدة لهذا الحقل هو $0.1\,\text{m}$.

المطلوبُ:

1. احسب تسارُع الإلكترون أثناء تواجُده ضمنَ المنطقةِ التي يسودُها الحقلُ الكهربائيّ.
2. احسب الزّمنُ الّذي يستغرقُه الإلكترون للخروجِ من المنطقة التي يسودُها الحقلُ الكهربائيّ.

يهمل ثقل الإلكترون $m_e = 9.1 \times 10^{-31}\ \text{kg} \quad , \quad e = 1.602 \times 10^{-19}\ \text{C}$

تفكير ناقد

أيُّ شحنةٍ تتحرَّكُ بسرعةٍ غيرِ ثابتة، من حيثُ القيمة أو الاتّجاه، تُصدِرُ طاقةً كهرطيسيّة، فهل ينطبقُ ذلك على الإلكترونات في الذَّرّة؟ وهل يوجد تفسيرٌ مُقنِعٌ لهذه المُعضِلة.

أبحث أكثر

عندما تنتقل الالكترونات من السويات الطاقية الأعلى إلى الأدنى تصدر فوتونات بأطوال موجية مختلفة. ابحث في علاقة الطيوف الصادرة عن الالكترونات بالألوان.



3 الأشعّة المهبطيّة



الأهداف:

* يتعرَّفُ معنى الانفراغ.
* يتعرَّفُ أنواع الانفراغ.
* يستنتِجُ شروط توليد الأشعّة المهبطيّة.
* يشرحُ خواصّ الأشعّة المهبطيّة.
* يتعرَّفُ طبيعة الأشعّة المهبطيّة.

الكلمات المفتاحية:

* الانفراغُ الكهربائيّ.
* أنبوبُ الانفراغ.
* الأشعّة المهبطيّة.



في الأيامِ الماطِرةِ تحدثُ الصَّواعِقُ، وتُشاهدُ البرقُ، وتسمعُ الرّعد، ذلك ناتجٌ عن شراراتِ تفريغ تحدثُ بينَ السّحبِ المشحونةِ أو شراراتِ تفريغ تحدثُ بينَ السّحب المشحونة وسطحِ الأرض، وتفقدُ السّحبُ معظمَ شحنتِها بعدَ حدوثِ البرق أو الصّاعقة.

أظهورُ السحب في الجو يعني حدوث الظواهر السابقة أم أنَّ هناك شروطٌ خاصّة لحدوثِ تلك الظواهر؟

هل البرقُ والصَّاعقة تيّارٌ كهربائيّ؟ وإذا كانَ تياراً فكيفَ ينتقلُ في الغازات؟

إذاً ما الانفراغُ الكهربائيّ؟

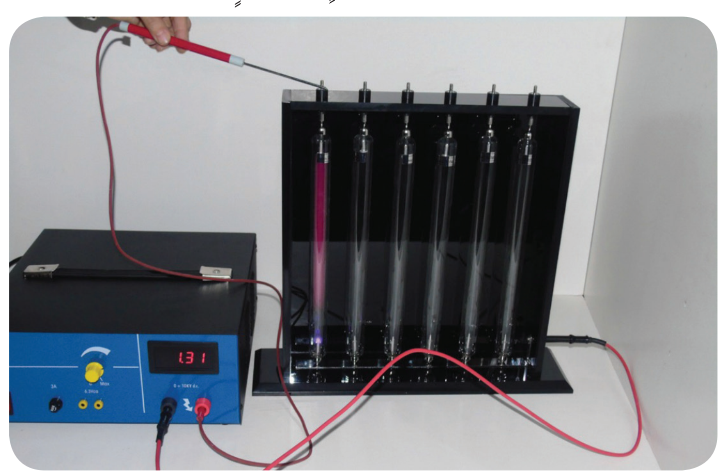
هو شرارةٌ كهربائيّةٌ تحدثُ عبرَ العازل (هواء، غازات) الفاصل بينَ جسمَين مشحونَين بفرقِ كمونٍ كافٍ.

لا تنقلُ الغازاتُ التيارَ الكهربائيّ ما لم يتمَّ تأيينُها، فعندَ تطبيقِ حقلٍ كهربائيّ خارجيّ على الغاز المُتأيّن تتحرَّكُ الجُسيماتُ المشحونة باتّجاهَين مُتعاكِسَين، إذ تتحرَّكُ الإلكتروناتُ والأيوناتُ السّالبة باتّجاهٍ مُعاكِس للحقلِ المُطبَّق، وتتحرَّكُ الأيوناتُ الموجبة باتّجاهِ الحقل وتحدثُ النّاقلية الّتي هي (أيون – إلكترون) والتيّار المُتولِّد في الغازات يدعى الانفراغ الكهربائيّ.

أجرّب وأستنتج:

تجربة (1)

الأدواتُ اللازّمة: مجموعةُ أنابيبِ الانفراغ – منبعُ تغذيةٍ لتيّارٍ مُتواصِلٍ (أو آلة ويمشورت) – أسلاكُ توصيل.



خطوات التجربة:

1. أطبّقُ على كلّ أنبوبٍ من أنابيبِ الانفراغ (تحتوي غازاتٍ مُختلِفةً، وضغطُ الغازِ فيها مُتساوٍ من مرتّبة 10 mm Hg)، التوتُّر ذاته 300 V. ماذا ألاحظُ؟
2. أرفعُ قيمةَ التوتُّر إلى 500 V. ماذا يحدثُ؟
3. أكرّرُ التّجربة السّابقة من أجلِ توتُّر 1310 V وألاحظُ ماذا يحصلُ في أنابيبِ الانفراغ.

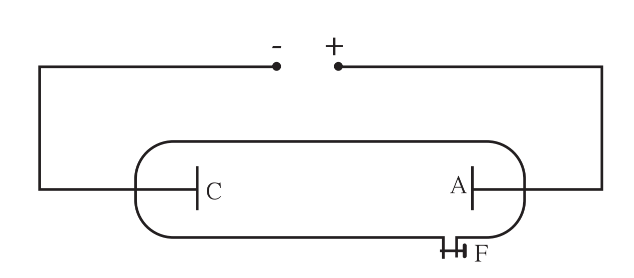


أستنتج

- لا يظهرُ الضّوءُ في أنابيبِ الانفراغ عندَ تطبيقِ توتُّرٍ بقيمةٍ أقلّ من 500 V.
- تظهرُ في أنابيبِ الانفراغ أضواءٌ بألوانٍ مُختلِفة عندَ تطبيقِ توتُّر 500 V معَ سماعِ صوتِ طقطقة، فإذا كانَ الغازُ هو النيونُ يكونُ اللونُ أحمرَ برتقالياً، وإذا كانَ الغازُ هوَ بخارُ الزّئبقِ يكونُ اللّون أزرقَ مُخضَّر.
- تزدادُ شدّةُ الحزمة الضّوئيّة في الأنابيب، ولا يتغيّرُ لونُها بزيادةِ التوتُّر عن القيمةِ 500 V.

النّتيجةُ:

أنبوبُ التّفريغِ الكهربائيّ في الغازاتِ هو عبارةٌ عن أنبوبٍ زجاجيٍّ مَتينٍ ومُغلَقٍ تماماً بطول 50 cm وقطر 4 cm، مملوء بالغازِ المطلوبِ دراستُه. يثبّتُ في الطرفَين قطبَين كهربائيَّين أحدُهما المهبط (cathode) والثاني المصعد (anode)، كما هو موضّحٌ في الشّكل. في أحدِ الجانبَين توجدُ فتحةٌ توصِلُ إلى مخلية ضغط P بوساطتها يُمكِنُ التّحكُّم بضّغطِ الغاز داخلَ الأنبوب. يتمُّ توصيلُ طرفَي الأنبوبِ أي القطبَين إلى دارة تيّار AC عالي التوتُّر من مرتبةِ 50 kv.



أجرّب وأستنتج:

تجربة (2)

الأدواتُ اللازّمة: أنبوب كروكس – مِنبعُ تغذيةٍ لتيّارٍ مُتواصِل – أسلاكُ توصيل.

خطوات التجربة:

أطبّقُ على الأنبوبِ توتّراً مُتواصِلاً 1000 V، وأشغّلُ مخليةَ الهواء بحيثُ يكونُ قيمُ الضّغط داخلَ الأنبوب على التّوالي: 110 mmHg , 100 mmHg , 10 mmHg قيمة قريبة من 0.01 mmHg، أراقبُ ما يحصلُ في الأنبوبِ، وأسجّلُ مُلاحَظاتي.

أستنتج

- **إنَّ مظهرَ الانفراغ الكهربائيّ يتغيَّرُ بتغيّرِ ضغطِ الغازِ داخلَ الأنبوب.**
- **من أجلِ الضَّغطِ حوالي 110 mmHg لا نلاحظُ انفراغاً في الأنبوب.**
- **عندَما يصبحُ الضَّغطُ داخلَ الأنبوبِ حوالي 100 mmHg نسمعُ طقطقاتٍ تدلُّ على حدوثِ تفريغٍ كهربائيّ في الأنبوبِ.**
- **عندَ الضَّغط 10 mmHg تختفي الطقطقات، ونلاحظُ عموداً ضوئيّاً مُتجانِساً يمتدُّ من المهبط إلى المصعد.**
- **بمتابعةِ تخفيضِ الضَّغط داخلَ الأنبوب إلى قيمةٍ قريبةٍ من 0.01 mmHg يختفي الضّوءُ كلّياً، ويحلُّ محلّه ظلامٌ حالكٌ داخلَ الأنبوب، عندَ هذه المرحلة تتألّقُ جدرانُ الأنبوبِ بلونٍ أخضرَ، وهذا ناتجٌ عن أشعةٍ غيرِ مرئيّةٍ صادرةٍ عن المهبط، ولذلكَ سُمّيَت بالأشعّة المهبطيّة.**
- **شرطا توليد الأشعّة المهبطيّة:**
  1. **فراغٌ كبيرٌ في الأنبوبِ يتراوحُ الضّغطُ فيه بينَ (0.01 – 0.001 mmHg).**
  2. **توتّرٌ كبيرٌ نسبيّاً بينَ قطبَي الأنبوبِ حيثُ يولِّدُ حقلاً كهربائيّاً شديداً بجوارِ المهبط.**

آلية توليد الأشعّة وطبيعتها:

ماذا يحوي انبوب الأشعّة المهبطيّة عندَ ضغط يقل عن (0.01 mmHg)؟

ما دورُ التّوتّرِ الكهربائيّ الكبير المُطبّق بينَ قطبَي الأنبوب؟

ممّا تتكوّنُ الأشعّة المهبطيّة المُتولّدة في الأنبوب؟

يحتوي أنبوبُ الأشعّة المهبطيّة على كتلةٍ غازيّة تتكوّنُ من ذرّاتٍ غازيّةٍ وأيُوناتٍ مُوجبة.

عندَ تطبيقِ توتّرٍ كهربائيّ كبيرٍ بينَ قطبَي الأنبوبِ تتّجهُ هذه الأيُونات المُوجبة نحوَ المهبط بسرعةٍ كبيرةٍ، وتؤينُ ما تلاقيه في طريقِها من ذرّاتٍ غازيةٍ حتّى تصلَ إلى المهبط وتصدمُه. يساعدُ هذا الصّدمُ على انتزاع بعضٍ من الإلكترونات الحرّة من سطح معدنِ المهبطِ الّذي يقومُ بدفعِها لتبتعدَ عنه نظراً لشحنتِها السّالبةَ ويسرّعُها الحقلُ الكهربائيّ لتصدُمَ من جديدٍ، في أثناءِ توجُّهِها نحوَ المصعد، ذراتٍ غازيةٍ جديدةٍ وتُسبّبُ تأيّنها، وتتشكّلُ أيُوناتٌ موجبةٌ جديدةٌ تتّجهُ نحوَ المهبطِ لتولّدَ إلكتروناتٍ جديدةً وهكذا.

تتكوّنُ الأشعّةُ المهبطيّة من إلكتروناتٍ مُنتزَعة من مادّةِ المهبط ومن إلكتروناتِ تأيّنِ الذّرّاتِ الغازيّة بجوار المهبط يسرّعُها الحقلُ الكهربائيّ الشّديدُ النّاتِجُ عن التّوتّرِ المُطبّق بينَ قطبَي الأنبوب.

خواصّ الأشعّة المهبطيّة:

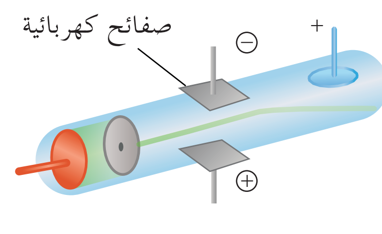
1. تنتشرُ وفقَ خطوطٍ مُستقِيمة ناظِميّة على سطحِ المهبط، لذا يختلفُ شكلَ حزمةِ الأشعّة بحسبِ شكلِ المهبط.
   - إذا كانَ المهبطُ مستوياً فالحزمةُ مُتوازية.
   - إذا كانَ المهبطُ مُقعَّراً فالحزمةُ مُتقاربة.
   - إذا كانَ المهبطُ مُحدَّباً فالحزمةُ مُتباعِدة.

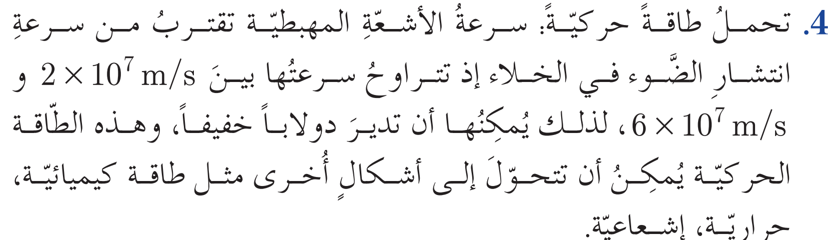


2. تُسبِّبُ تألُّقَ بعض الاجسام: تهيّجُ الأشعّة المهبطيّة ذرات بعضِ الموادّ التي تسقطُ عليها فتتألّقُ بألوانٍ مُعيَّنة. عندَما تسقطُ الأشعّة المهبطيّة على الزّجاج العادي يتألّقُ بالأخضر، وعلى كبريتات الكالسيوم بالأصفرِ البرتقالي. يُستفادُ من هذه الخاصّيّة في الكشفِ عن الأشعّة المهبطيّة.

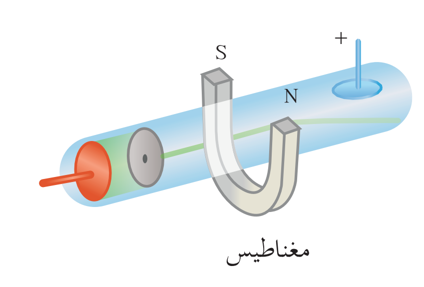


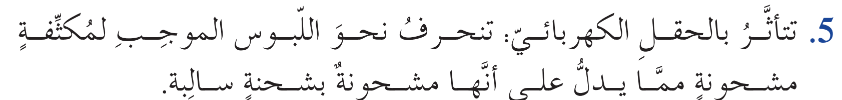
3. ضعيفةُ النّفوذ: لا تنفذُ من خلالِ صفيحةٍ من المعدنِ وتكوّنُ ظلّاً على الزّجاج المُتألّق خلفها.





4. تحملُ طاقةً حركيّةً: سرعةُ الأشعّةِ المهبطيّة تقتربُ من سرعةِ انتشارِ الضّوء في الخلاء إذ تتراوحُ سرعتُها بينَ 2×10^7 m/s و 6×10^7 m/s، لذلك يُمكِنُها أن تديرَ دولاباً خفيفاً، وهذه الطّاقة الحركيّة يُمكِنُ أن تتحوّلَ إلى أشكالٍ أُخرى مثل طاقة كيميائيّة، حراريّة، إشعاعيّة.





5. تتأثّرُ بالحقلِ الكهربائيّ: تنحرفُ نحوَ اللّبوس الموجبِ لمُكثّفةٍ مشحونةٍ ممّا يدلُّ على أنّها مشحونةٌ بشحنةٍ سالبة.
6. تتأثّرُ بالحقلِ المغناطيسيّ: تنحرفُ بتأثّرِ قوّة لورنز المغناطيسيّة عموديّاً على خطوط الحقل المغناطيسي الّذي يؤثّرُ عليها.
7. تنتجُ أشعةً سينيّة: إذا صدمَت صفيحةً مصنوعةً من معدنٍ ثقيل.
8. تؤيّنُ الغازات: عندَما تنتشرُ الأشعّة المهبطيّة في غازٍ ما فإنّها تقومُ بتأيينه؛ أي تنزعُ إلكتروناً من الذّرّة الغازية وتتحوّل إلى أيُون ممّا يؤدّي إلى توهُّج الغاز.
9. تعملُ عملَ الأشعّة الضّوئيّة في تأثيرها بألواح التّصوير الضّوئيّ الحسّاسة للضّوء.

تعلَّمتُ

- الانفراغ الكهربائيّ هو شرارةٌ كهربائيّة تحدُثُ عبرَ العازل (هواء، غازات) الفاصل بينَ جسمين مشحونين بفرق كمون كاف.
- يتغيَّرُ مظهرَ الانفراغ الكهربائيّ بتغيّرِ ضغطِ الغازِ داخلِ الأنبوب.
- تتكوَّنُ الأشعّة المهبطيّة من إلكتروناتٍ مُنتزَعةٍ من مادّة المهبط ومن إلكتروناتِ تأيّن الذّرّات الغازيّة بجوارِ المهبط يسرِّعُها الحقلُ الكهربائيُّ الشّديدُ النّاتج عن التّوتُّرِ المُطبَّق بينَ قطبَي الأنبوبِ.
- خواصّ الأشعّة المهبطيّة:
  1. تنتشرُ وفقَ خطوطٍ مُستقيمةٍ ناظميّة على سطحِ المهبط.
  2. تُسبِّبُ تألُّق بعضِ الأجسام
  3. ضعيفةُ النفوذ.
  4. تحملُ طاقةً حركيّة.
  5. تتأثّرُ بالحقلِ الكهربائيّ.
  6. تتأثّرُ بالحقلِ المغناطيسيّ.
  7. تُنتجُ أشعةً سينيّة.
  8. تؤينُ الغازات.
  9. تعملُ عملَ الأشعّةِ الضّوئيّة في تأثيرها بألواح التّصويرِ الضّوئيّ الحسّاسة للضّوء.



أختبر نفسي

أولاً: علّل ما يأتي:

1. الأشعّةُ المهبطيّة تتأثّرُ بالحقلَين الكهربائيَّ والمِغناطيسيّ.
2. إذا سقطَت الأشعّةُ المهبطيّة على دولابٍ خفيفٍ تستطيعُ تدويره.

ثانياً: حُلَّ المسائلَ الآتية:

المسألة الأولى:

احسب السُّرعةَ الّتي يغادرُ بها الإلكترونَ المهبط المعدنيّ إذا كانَت طاقتُه الحركيّةُ تُساوي $E_k = 10^{-18}$ J لحظةَ خروجه من المهبطِ وطاقةِ الانتزاع 3 ev للمعدنِ المدروس، إذا علِمتَ أنّ $m_e = 9 \times 10^{-31}$ kg ، $e = 1.6 \times 10^{-19}$ C.

المسألة الثّانية:

إذا كانَت شدّةُ التيّار داخلَ أنبوبِ الانفراغ 4.8×10^{-12} A، أوجِدْ عددَ الأيونات (أزواج الأيونات المُتشكِّلة) خلال وحدة الزّمن من جراء الحقل الخارجيّ علماً أنَّ شحنة الإلكترون $e = 1.6 \times 10^{-19}$ C.

المسألة الثّالثة:

إذا علمتَ أنَّ طاقةَ تأين جزيئاتِ الهواء هي 10 ev، أوجِد المسار الحرّ الوسطيّ (L) للإلكترون في الهواءِ علماً أنَّ $e = 1.6 \times 10^{-19}$ C، وأنّ الانفراغَ الشّرريّ يظهرُ عندَما تصلُ شدَّةَ الحقلِ الكهربائيّ إلى $E = 3 \times 10^{6} \frac{V}{m}$.



تفكير ناقد

ننصحُ جميعاً ألا نلمسَ جهازَ التّلفازِ من الخلفِ، ونحذّرُ من رفع أيَّةِ أداةٍ ناقلةٍ للتيّار باتّجاهِ الأعلى حيثُ تمرُّ خطوط التّوتُّر الكهربائيّ، وعندَ تمديدِ خطوطِ التّوتُّر العالي نلاحظُ اتّساع المسافات الفاصِلة بينَها!

أبحث أكثر

تنصبُ موانعُ الصواعق على أسطحةِ الأبنية لتفادي الصّواعق، ابحث في ذلكَ مُستعِيناً بمكتبةِ مدرستك، والشّابكة.





4 الفعل الكهرحراريّ

الأهداف:

* يعرِّفُ الفعلَ الكهرحراري.
* يفسّرُ الفعلَ الكهرحراريَ.
* يتعرَّفُ اقسام راسم الاهتزاز الإلكترونيّ.
* يتعرَّفُ عمل راسم الاهتزاز الإلكترونيّ.
* يتعرَّفُ تطبيقات راسم الاهتزاز.

الكلمات المفتاحية:

* الفعلُ الكهرحراريّ.
* راسم الاهتزاز الإلكترونيّ.
* شبكة وهنلت.
* الجملة الحارفة.
* الشّاشة المُتألِّقة.



يستخدمُ جهازُ راسمِ الاهتزاز الإلكترونيّ في مجالاتٍ مُتعدِّدةٍ من العلوم، حتَّى يكادُ لا يخلو منه مُختبَرٌ بحثيٌّ أو طبيٌّ تشخيصيٌّ، وغير ذلك مُعتمِداً على ظاهرةِ الفعلِ الكهرحراريّ كأحدِ طرائقِ انتزاعِ الإلكترونات.

فكيفَ نفسِّرُ حدوثَ هذه الظّاهرة، وما الأقسامُ الرّئيسيّة لراسمِ الاهتزاز الإلكترونيّ؟

نشاط:

- نسخِّنُ سلكاً معدنياً إلى درجةِ حرارةٍ مُعيَّنة، ماذا يحدثُ لبعضِ إلكتروناتِه الحرَّة عندَ بدءِ التّسخين؟
- ماذا يحدثُ عندَ استمرارِ التَّسخين؟
- ما الشّحنةُ الكهربائيّة التي يكتسبُها السّلكُ المعدنيّ؟
- ما الأفعالُ المُتبادَلة بينَ المعدنِ والإلكترونات؟
- ماذا نسمِّي هذه الظّاهرة؟
- كيفَ تفسّرُ تشكُّلَ سحابةٍ إلكترونيّة كثافتُها ثابتة حولَ السّلك؟
- ماذا يحصلُ إذا طبّقنا على السّحابة الإلكترونيّة حقلاً كهربائيّاً؟

النّتيجةُ:

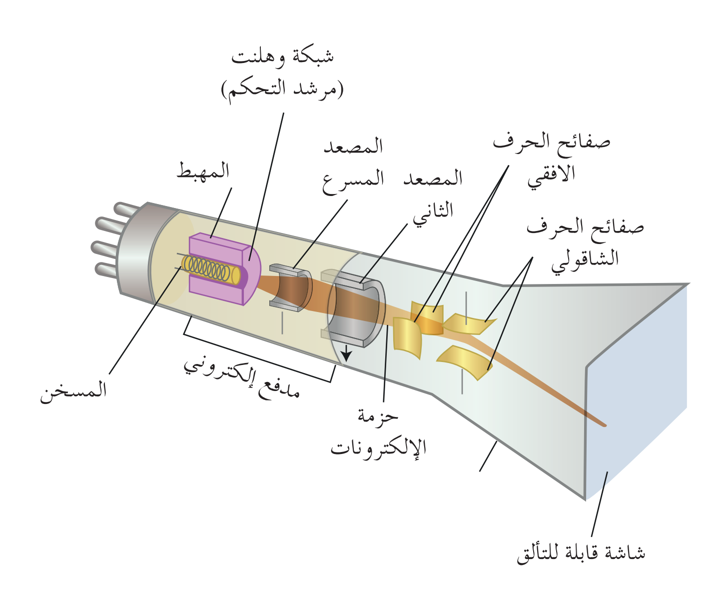
- **تكتسِبُ بعضُ الإلكتروناتِ الحرّة للسّطح المعدنيّ قدراً من الطّاقة تزيدُ من سرعتِها وحركتِها العشوائيّة.**
- **تكتسِبُ بعضُ الإلكترونّاتِ الحرَّة طاقةً كافيةً لتنطلقَ من ذرَّات السَّطح المعدنيّ.**
- **يكتسِبُ سطحُ المعدنِ شحنةً موجبة.**
- **باستمرارِ التَّسخين يزدادُ خروجُ الإلكتروناتِ من ذرّاتِ سطحِ المعدنِ (إلى حدٍّ مُعين) وتزدادُ شحنةُ المعدنِ ممّا يزيدُ من قوّةِ جذبِ المعدنِ للإلكتروناتِ المُنطلِقة وفي لحظةٍ ما يتساوى عددُ الإلكتروناتِ المُنطلِقةِ معَ عددِ الإلكتروناتِ العائدةِ لسطحِ المعدنِ، فتتشكّلُ سحابةُ إلكترونيّة، كثافتُها ثابتةٌ حولَ سطحِ المعدن.**
- **أسمّي هذه الظّاهرة الفعلَ الكهرحراريّ. اكتشفَها توماس أديسون (1847 – 1931) خلال تجاربِه حيثُ لاحظَ تحوُّلَ الهواءِ المُحيطِ بسلكِ المعدن المُتوهِّج إلى وسطٍ ناقلٍ.**
- **وعندَ تطبيقِ حقلٍ كهربائيّ، فإنَّ الإلكتروناتِ الخارجةَ من سطحِ المعدنِ لا تعودُ إليه. وإنّما تتحرَّكُ في الحقلِ نحوِ المصعدِ ويساعدُ هذا على إصدارِ إلكتروناتٍ جديدةٍ، وتستمرُّ العمليّة و بسرعةٍ كبيرةٍ جدّاً، حيثُ تتسارَعُ الإلكتروناتُ مُكوِّنةً حزمةً إلكترونيّة.**
- **يزدادُ عددٌ الإلكتروناتِ المُنتزعة في الثّانية الواحدة من سطحِ المعدنِ كلّما:**
  1. **قلَّ الضّغطُ المُحيطُ بسطحِه.**
  2. **ارتفعَت درجةُ حرارةِ المعدن.**

إذاً ما الفعلُ الكهرحراريّ؟

هو انتزاعُ إلكتروناتٍ حرّةٍ من سطحِ معدنٍ بتسخينه إلى درجةِ حرارةٍ مُناسِبة.

راسم الاهتزاز الإلكترونيّ:

- أتفحّصُ راسَمَ الاهتزازِ الإلكترونيّ في مخبرِ المدرسةِ بمُساعَدة المِخبريّ وأتعرّفُ على أجزائِه الرَّئيسيّة:
المدفعُ الإلكترونيّ – الجملة الحارفة – الشّاشة المُتألّقة.
- أستعينُ بالرَّسم المُجاور وأحدِّدُ أجزاءَ راسمِ الاهتزاز الإلكترونيّ ووظيفة كلّ منها.



يتألّفُ راسمُ الاهتزاز الإلكترونيّ من أنبوبٍ زجاجيّ متينٍ يتحمّلُ الضَّغط، أسطوانيٍّ ضيّقٍ في بدايتِه، ومخروطيّ مُتَّسعٍ في نهايتِه ومُخلّى من الهواء، ويحتوي على الأقسام الثّلاثة الآتية:

1. المدفعُ الإلكترونيّ:

يتألّفُ المِدفعُ الإلكترونيّ من الأجزاءِ الآتية:

1. **المهبط:** صفيحة معدنيّة يُطبَّقُ عليها توتّرٍ سالبٍ، يُصدِرُ إلكتروناتٍ بالفعل الكهرحراريّ عن طريقِ تسخينه تسخيناً غيرِ مُباشر بوساطة سلكِ تسخينٍ من التّنغستين حيثُ يُمرَّرُ فيه تيّارٌ مُتواصِلٌ.
2. **شبكة وهنلت:** وهي أسطوانة تحيط بالمهبط في قاعدتِها ثقب ضيّق، وتوصل بتوتر سالب قابل للتغيير، ولها دورٌ مُزدوَجٌ لضبطِ الحزمة الإلكترونيّة:
   - تجميع الإلكترونات الصّادرة عن المهبط في نقطةٍ تقعُ على محورِ الأنبوب.
   - التَّحكُّم بعددِ الإلكترونات النّافذة من ثقبها من خلال تغيير التّوتُّر السّالب المُطبَّق على الشَّبكة ممَّا يغيّرُ من شدَّة إضاءةِ الشّاشة.
3. **مصعدان:** لتسريعِ الحزمة الإلكترونيّة على مرحلتَين؛
   - **الأولى:** بينَ الشَّبكة والمصعد الأوّل بتطبيقِ توتُّرٍ عالٍ موجبٍ قابلٍ للتّغيير.
   - **الثانية:** بينَ المِصعدَين بتطبيقِ توتُّرٍ عالٍ موجبٍ ثابت.

2. الجملة الحارفة:

تتألّفُ مِن:

1. مُكثِّفة، لبوساها أفقيّان "حقلُها الكهربائيّ شاقوليّ" تحرّف الحزمة الإلكترونيّة شاقوليّاً.
2. مُكثِّفة مُستوية، لبوساها شاقوليّان "حقلُها الكهربائيُّ أفقيّ" تحرَّفُ الحزمة الإلكترونيّة أفقيّاً.

يُمكِنُ استخدامُ زوجَين من الوشائع بدلاً من الصَّفائح إحداهما أفقيّة والأخرى شاقوليّة.

3. الشّاشة المُتألّقة:

تتألّفُ من:

1. طبقةٍ سميكة من الزّجاج.
2. طبقةٍ رقيقةٍ ناقلةٍ من الغرافيت.
3. طبقةٍ رقيقةٍ من مادّة مُتألّقة "كبريت الزّنك".

- تغطى الشّاشة من الداخل بوريقة من الألمنيوم لا يتجاوز ثخنها بضعة ميكرونات.
- تسمحُ وريقة الألمنيوم للإلكترونات المُسرِعة بالعبور فتصطدمُ بالمادة القابِلة للتّألق وينعكسُ التّألق على وريقة الألمنيوم الذي تعكسه بدورها خارج الأنبوب.
- يُطلَى الأنبوبُ الزّجاجيُ من الدّاخل بطبقةٍ من الغرافيت تعملُ دورَ الواقي للحزمة الإلكترونيّة من الحقول الخارجيّة كما أنّها تعيدُ الإلكترونات التي سبّبت التّألق إلى المِصعَد وتُغلِق الدّارة.

استخدامات راسم الاهتزاز:

يستخدمُ في دراسةِ الحركاتِ الدّورية السّريعة كالتيّاراتِ المُتناوبة والاهتزازات الصّوتيّة، حيثُ يُظهر تحوُّلات التوتُّر بتابعيّة الزّمن على شكلِ مُنحنٍ بيانيّ له تواتُرِ الحركةِ المدروسة نفسِه، ويُمكِنُ للجهاز قياسَ فرق الكمون المُستمرّ أو المُتناوب بوساطةِ الشّاشة المُقسَّمة إلى تدريجاتٍ مُناسِبة، ويُمكِنُ التّحكُّم بقيمةِ كلِّ تدريجةٍ بوساطة مفتاح خاصّ.
ويُستَخدَمُ أيضاً في أجهزةِ الاستقبالِ التّلفزيونيَّة حيث تُستبدَلُ بالمكثفاتِ وشائعُ تحريضيَّةٌ تقومُ بالعملِ ذاته، وكذلك يُستخدَمُ في التّكبير مثلّ المجهرِ الإلكترونيّ، وفي أجهزةِ الرَّادار.

تعلّمت

- **الفعلُ الكهرحراريُ هو انتزاعُ إلكتروناتٍ حرّة من سطح معدنٍ بتسخينه إلى درجةِ حرارةٍ مُناسِبة.**
- **يُستخدَم راسمُ الاهتزاز الإلكترونيّ في دراسةِ الحركاتِ الدّوريّة السّريعة كالتيّارات المُتناوبة والاهتزازات الصّوتيّة، حيثُ يُظهِرُ تحولاتِ التّوتُّر بتابعيّة الزّمن على شكل مُنحنٍ بيانيّ له تواتُرُ الحركة المدروسة نفسه.**
- **يتألّفُ راسمُ الاهتزاز الإلكترونيّ من ثلاثةِ أقسام:**
  1. **المدفع الإلكترونيّ:**
     يتألّفُ المدفعُ الإلكترونيّ من الأجزاءِ الآتية:
     1. **المهبط.**
     2. **شبكة وهنلت.**
     3. **مصعدان**
  2. **الجملة الحارفة.**
  3. **الشّاشة المُتألِّقة.**
- **لشبكة وهنلت دورٌ مزدوجٌ لضبطِ الحزمةِ الإلكترونيّة:**
  1. **تجميعِ الإلكترونات الصّادرة عن المهبط في نقطةٍ تقعُ على محورِ الأنبوب.**
  2. **التّحكُّم بعددِ الإلكتروناتِ النّافذة من ثقبها من خلالِ تغيير التّوتُّر السّالب المُطبّق على الشّبكة ممّا يغيّرُ من شدّة إضاءة الشّاشة.**



أختبر نفسي

أولاً: اخترِ الإجابةَ الصَّحيحة لكلٍّ ممَّا يأتي:

1. الفعلُ الكهرحراريّ هو انتزاعُ:
   a. النّيوترونات من سطح المعدن بتسخينه.
   b. الإلكترونات الحرّة من سطح المعدن بتسخينِه لدرجةِ حرارةٍ مُناسِبة.
   c. البروتونات من سطح المعدن بتسخينه.
   d. الفوتونات عندَ اصطدام الإلكتروناتِ بسطح مادَّةٍ مُفلورة.

2. يتمُّ التّحكُّم بشدّةِ إضاءةِ شاشة راسم الاهتزاز بوساطة التّحكُّم:
   a. بتوتُّر الجملة الحارفة.
   b. بدرجة حرارة المهبط.
   c. بالتّوتُّر المطبق على المصعد.
   d. بالتّوتُّر السّالب المُطبّق على الشَّبكة.

3. مهمَّة شبكة وهلنت هي:
   a. ضبط الحزمة الإلكترونيّة.
   b. تسخين السّلك (الفتيل).
   c. اصدار الإلكترونات.
   d. حرف الحزمة الإلكترونيّة.

4. تُطلَى شاشة راسم الاهتزاز الإلكترونيّ بطبقةٍ من الغرافيت:
   a. لحمايةِ الشّاشة من الحقول الخارجيّة.
   b. لالتقاط الفوتونات.
   c. لامتصاص النّترونات.
   d. لإصدار البروتونات الزّائِدة.

ثانياً: اشرحِ الدّورَ المُزدوَجَ لشبكةِ وهلنت في جهازِ راسمِ الاهتزاز الإلكترونيّ.

ثالثاً: حُلَّ المسألة الأتية:
تبلغُ الطّاقةُ الحركيّة لحزمةٍ من الإلكترونات المُنتزعة 9.6×10^{-14} J، وشدّتُها $10\ \mu A$.
المطلوبُ:
1. احسب سرعة الإلكترونات في هذه الحزمة.
2. احسب كميّة الحرارة المُنتشِرة خلالَ 30 ثانيةً عندَ اصطدامِ هذهِ الحزمة بصفيحةٍ معدنيّةٍ وتحوُّلِ طاقتِها الحركيّة بالكاملِ إلى طاقةٍ حراريّة.
3. احسب عدد الإلكتروناتِ التي تصِلُ الصّفيحة المعدنيّة في الثّانية الواحِدة.
(كتلة الإلكترون $m_e = 9 \times 10^{-31}$ kg، شحنةُ الإلكترون $e = 1.6 \times 10^{-19}$ C)

تفكير ناقد

ينصح بعدم تقريب المغانط من شاشة التلفزيون أثناء تشغيلها.

أبحث أكثر

تختلف شاشات راسم الاهتزاز بقياسها، هل هناك علاقة بين قياس الشاشة وعدد الالكترونات المنتزعة. ابحث في ذلك.

5 نظريّةُ الكمِّ والفعلُ الكهرضوئيّ



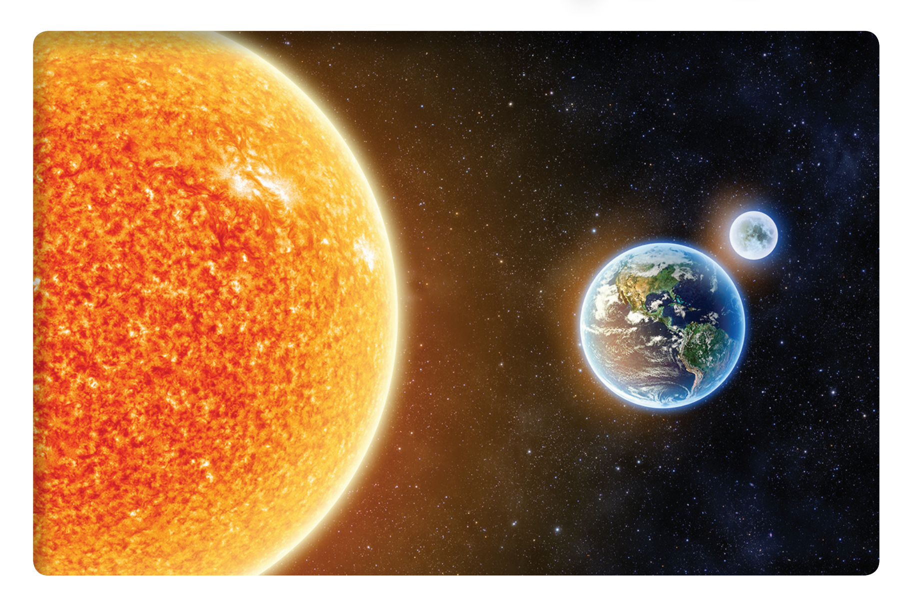
الأهداف:



* يتعرَّفُ فرضيّاتِ نظريّةِ الكمّ.
* يشرحُ نظريّةَ أينشتاين الكهرضوئيّة.
* يتعرَّفُ طاقةَ الفوتون وخواصّه.
* يتعرَّفُ الفعلَ الكهرضوئيّ.
* يفسِّرُ الظّاهرة الكهرضوئيّة على أساسِ نظريّة أينشتاين.
* يتعرَّفُ مُعادلَة أينشتاين في الفعل الكهرضوئيّ.
* يصفُ الخليةَ الكهرضوئيّة.
* يُبيِّنُ بعضَ تطبيقاتِ الخلية الكهرضوئية.

الكلمات المفتاحية:

* نظريّةُ الكمّ.
* نظريّةُ أينشتاين.
* الفعلُ الكهرضوئيّ.
* الخليّةُ الكهرضوئيّة.



تعتمدُ الحياةَ على سطح الأرضِ بجميع صورِها على ما ترسلُه الشَّمس من حرارةٍ وضوءٍ. كما أنَّ للتّدفّق المُنتظَم للحرارة والضّوء من الشَّمس دوراً أساسيّاً في تنميةِ الحياةِ وتطوُّرها على الأرض، الّتي لم يكن من المُمكِن أن توجدَ من دونِها ومن دونِ تدفُّق اشعاعاتِها في انتظامِ الحياة واستمراريتها، فلو زادَت أو نقصَت هذه الطّاقة فإنَّ ذلك سيؤثِّرُ على مِقدار سخونة الأرض أو برودتها، وسيرافقُ ذلك أخطارٌ جسيمة.

يُمكِنُ الحصولُ على الحرارةِ إمَّا بطرقٍ فيزيائيّة مثل الاحتكاكِ أو تهييج جُزيئات المادّة، أو بطرقٍ كيميائيّة مثل الحرارة النّاتجة عن التّفاعُلات الكيمائيّة و النوويّة و الاحتراق وغيرها.

بينَ الكيميائيّين التَّحليليّين في مختبراتِهم وبينَ علماءِ الفلكِ الّذين يراقبونَ النّجومَ والكواكبَ بمناظيرِهم العملاقة شيءٌ مُشترَكٌ هو لجوءُ كلّيهما إلى استخدام تقاناتِ التَّحليل الطّيفيّ لكشفِ كُنهِ ما يحلّلونه أو ما يراقبونه ومعرفةِ تركيبهِ الكيميائيّ.

يقومُ مبدأ التّقانات المُستخدَمة على امتصاص الذرّات و الجُزيئات للطاقة، أو اصدارها في أنبوب اختبار في مُتناوَل اليدِ أو في نجمٍ بعيدٍ

أتساءلُ:

- وفقَ النّظريّة الكلاسيكيّة للذّرّة، أينَ يتواجَدُ الإلكترون في الذّرّة؟
- ما مسارُ حركتِه حولَ النّواة؟
- أيفقدُ أم يكتسبُ طاقةً في أثناءِ حركتِه؟

ما مصيرُ الإلكترون إذا كانَت طاقتُه تتناقصُ تدريجيّاً في أثناءِ دورانه حولَ النّواة؟ وهل تفنى الذّرّة نتيجة ذلك؟
إنّ تطبيقَ قوانين الفيزياء التّقليديّة لتفسير ذلك يقودُنا إلى أنَّ دورانَ الإلكترونات حولَ النّواة يؤدّي إلى فقدانها تدريجيّاً لطاقتها، وبالتالي إلى اقترابِها من النّواة لتستقرَّ فيها، وهذا لا يحدث في الطبيعة.

إنّ هذا العجزَ في تفسير ذلك وغيره من الظَّواهر مهّدَ لوضع نظريّة الكمّ التي تقومُ على الأسس الآتية:

1. **فرضيّة بلانك:** افترضَ بلانك أنّ الضَّوءَ والمادّة يُمكِنُهما تبادُل الطّاقة من خلالِ كمّيات مُنفصِلة من الطّاقة سُمّيَت (كمّات الطّاقة)، تُعطَى طاقةُ كلِّ كمّة بالعلاقة: $E = h\,.\,f = \dfrac{h\,c}{\lambda}$
2. **فرضيّة أينشتاين:**

افترضَ أينشتاين أنّ الحزمةَ الضّوئيّة مُكوَّنةٌ من فوتوناتٍ (كمّات الطّاقة) يحملُ كلٌّ منها طاقةً تُساوي $E = h\,.\,f$ ، ويحصلُ تبادل للطّاقة مع المادّة من خلال امتصاص أو إصدار فوتونات.

ويتمتّعُ الفوتون بالخواصّ الآتية:

1. الفوتون أو (حبيبة الطّاقة) هو جسيمٌ يواكبُ موجة كهرطيسيّة ذات التواتر f.
2. شحنتُه الكهربائيّة معدومةٌ.
3. يتحرَّكُ بسرعةِ انتشار الضّوء.
4. طاقتُه تُساوي $E = h\,.\,f$ حيثُ $h = 6.63 \times 10^{-34}$ J.s ثابت بلانك.
5. يمتلكُ كمّية حركة $P = m\,c$:

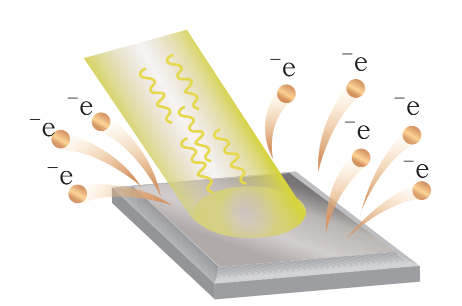
$$E = m\,c^2$$
$$m = \frac{E}{c^2}$$
$$P = \frac{E}{c^2}\,c$$
$$P = \frac{E}{c^2}$$
$$P = \frac{h\,f}{\lambda\,f}$$
$$P = \frac{h}{\lambda}$$

الفعلُ الكهرضوئيّ:

يوجدُ الكثير من الأجهزةِ في حياتِنا اليوميّة تعتمدُ في عملها على تحويل الطّاقة الضّوئيّة إلى طاقةٍ كهربائيّة، كالخلايا الشّمسيّة التي يُستفادُ منها في إنارة الشّوارع وغير ذلك.

أتساءلُ:

ما المبدأُ الذي تعتمدُ عليه عملُ هذه الأجهزة؟

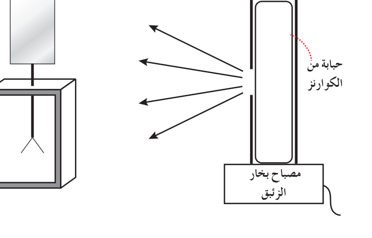


إنَّ عملَ هذه الأجهزة يقومُ على انتزاع الإلكترونات الحرّة من المادّة عندَ تعرُّضها لإشعاعاتٍ كهرطيسيّة مُناسِبة، وهذا ما يسمَّى بالفعل الكهرضوئيّ، وأوّل من لاحظَ هذه الظّاهرة عمليّاً هو العالمُ هرتز عام 1887.

تجربةُ هرتز:

أدواتُ التّجربة: صفيحةُ توتياء – كاشفٌ كهربائيّ – مصباحُ بخار زئبقيّ – لوحُ زجاج.

وصفُ التّجربة:



- نثبّتُ صفيحةً من التّوتياء فوق كاشفٍ كهربائيّ.
- نعرّضُ الصفيحة للأشعة الصّادرة عن مصباحِ بخار الزّئبق. كما في الشّكل.

خطواتُ تنفيذ النّشاط:

1. نقومُ بشحنِ الصّفيحة بشحنةٍ سالبةٍ، ماذا نلاحظُ؟
2. نسلّطُ ضوءَ المصباح على صفيحة التّوتياء، ماذا تتوقَّعُ أن يحدثَ لوريقتَي الكاشف؟
3. نعيدُ التَّجربة السّابقة بعد أن نضعَ بينَ المصباحِ وصفيحةِ التّوتياء لوحاً زجاجيّاً، ماذا نلاحظُ؟
4. نقرّبُ المِصباحَ من الصّفيحة معَ بقاء اللّوح بينَهما، هل يتغيّرُ انفراج الوريقتَين؟
5. نسحبُ اللّوح الزّجاجيّ، هل تفقدُ الصّفيحةُ شحنتَها؟
6. نشحنُ الصَّفيحة بشحنةٍ موجبةٍ، ثُمّ نعرّضُها لضوء مصباح الزّئبق، ماذا يحدثُ لشحنةِ الصَّفيحة؟

نتائجُ التّجربة:

- تنفرجُ وريقتا الكاشفِ دالَّةً على شحنةِ الصَّفيحة.
- تُنتزَعُ بعضُ الإلكتروناتِ من صفيحةِ التّوتياء بالفعل الكهرضوئيّ، وتدفعُهم شحنةُ الصَّفيحة السّالبة فتبتعدُ الإلكتروناتُ عن الصّفيحة ممّا يؤدّي إلى فقدانِها تدريجيّاً لشحنتِها السّالبة حتّى تتعادلُ، فتتقاربُ وريقتا الكاشِف حتّى تنطبقا.

- لا يتغير انفراج وريقتي الكاشف الكهربائي لأن اللّوحُ الزّجاجيَّ يمتص الأشعّة فوق البنفسجيّة المسؤولة عن انتزاع الإلكترونات، ويمنعُها من الوصول إلى الصّفيحة بينَما يسمحُ بمرور الأشعّة المرئيّة والأشعّة تحتَ الحمراء التي لا تمتلكُ الطّاقة الكافية لانتزاع الإلكترونات.
- إنّ الإلكتروناتِ التي يجري نزعها يُعاد جذبُها إلى الصّفيحة بسبب شحنتِها الموجِبة،فنجدُ أنَّ وريقَتي الكاشفِ لا تتأثرُ فلا يتغيَّرُ انفراجها.

شرحُ الفعلِ الكهرضوئيّ بالاستنادِ إلى فرضيّة أينشتاين:

اقترحَ أينشتاين أنّه عندَما يسقطُ فوتون على معدنٍ فإنَّ هذا الفوتون يُمكِنُ أن يصادفَ إلكتروناً ويُقدّمُ له كاملَ طاقتِه، والفوتون يكونُ بذلكَ قد جرى امتصاصُه، وهنا لدينا ثلاثُ إمكانيّات:

1. إذا كانَت طاقةُ الفوتون مُساويةً لعملِ الانتزاع $E_s = h.f$، فإنَّ ذلك يؤدّي إلى انتزاع الإلكترون، وخروجِه من المعدن، ولكن بطاقةٍ حركيّةٍ معدومة، وتواتُر الموجة عندَئذٍ يمثّلُ تواتُر العتبة اللاّزمة لنزع الإلكترون.

الفعل الكهرضوئى غير محقق | الفعل الكهرضوئى محقّق

$E < W_s$ | W_s | $E > W_s$ → E

$f < f_s$ | f_s | $f > f_s$ → f

$\lambda > \lambda_s$ | $\lambda < \lambda_s$ ← f_s

أطوال الموجات والتواترات وطاقات الانتزاع التي يتحقق عندها الفعل الكهرضوئي

2. إذا كانَت طاقةُ الفوتون أكبرَ من عمل النّزع، فإنّه يجري انتزاعُ الإلكترون من المعدن باستهلاك جزءٍ من طاقةِ الفوتون يُساوي E_s، والجزءُ الآخرُ يبقى معَ الإلكترون على شكلِ طاقةٍ حركيّة، أي يخرجُ الإلكترونُ من المعدن بطاقةٍ حركيّة تُساوي $E_k = h.f - E_s$.
3. إذا كانَت طاقةُ الفوتون أصغرَ من طاقةِ الانتزاع يكتسبُ الإلكترونُ طاقةً حركيّةً، ويبقى مُرتبطاً بالمعدن.

النّتيجةُ:

يجري انتزاعُ الإلكترونات من المعدن إذا كانَ طولُ مَوجةِ الحزمة الضّوئيّة الواردة على المعدن أصغرَ أو مساوياً لطول مَوجة العتبة اللاّزمة للانتزاع.

نجدُ في الجدول عملَ انتزاعِ الإلكترون من عددٍ من المعادن، وطولَ مَوجةِ العتبة الموافق.



إضاءة

حصلَ أينشتاين على جائزةِ نوبل عام 1921 لشرحِه الفعلَ الكهرضوئيَّ.

مُعادَلَةُ أينشتاين في الفعل الكهرضوئيّ:

وجدنا أنّ الإلكترونَ يُنتزَعُ بطاقةٍ حركيَّةٍ عُظمَى من أجلِ:

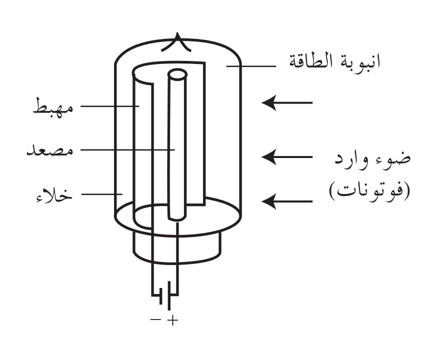
$$E_k = h\,f - E_s$$
$$E_k = h\,f - h\,f_s$$
$$E_k = h\,c\left(\frac{1}{\lambda} - \frac{1}{\lambda_s}\right)$$

فسَّرَت مُعادَلَةُ أينشتاين ما عجزَت النَّظريّة المَوجيّة الكلاسيكيّة عن تفسيره وهي:

1. لا يحدثُ الفعلُ الكهرضوئيّ إذا كانَ تواتُرُ الضّوءِ الوارد أقلّ من تواتُر العتبة f_s الذي تتعلّقُ قيمتُه بطبيعة المعدن، أمّا النّظريّة المَوجيَّة، فتعتبرُ أنَّ الفعلَ الكهرضوئيَّ يحدثُ عندَ جميعِ التّواتُراتِ بحسبِ شدَّةِ الضّوء الوارد.
2. لا تزدادُ الطّاقةُ الحركيّة العُظمَى للإلكترون المُنتزَع E_k بزيادةِ شدّةِ الضَّوء لأنّ الإلكترون لا يمتصُّ سوى فوتون واحدٍ من الفوتوناتِ الواردة، بينَما اعتبرَت النّظريّة المَوجيّة أنّ الضَّوء ذا الشّدّة العالية يحملُ طاقةً أكثرَ للمعدنِ وبالتالي تزدادُ الطّاقةُ الحركيّة للإلكترون المُنتزَع بزيادةِ شدّة الضَّوء الوارِد.
3. تزدادُ الطّاقةُ الحركيّة العُظمَى للإلكترون المُنتزَع بزيادة تواتُر الضَّوء الوارِد، بينَما اعتبرَت النَّظريّةُ المَوجيّة أنّه لا علاقةَ بينَ طاقةِ الإلكترونِ وتواتُر الضّوءِ الوارد.
4. يحدثُ انتزاعٌ للإلكتروناتِ من سطحِ المعدنِ آنيّاً مهما كانَت قيمةُ شدّةِ الضَّوء الوارِد، وبحسبِ النّظرية المَوجيّة يحتاجُ الإلكترونُ لزمنِ امتصاصِ الفوتون الوارِد حتّى يُنتزَع.

الخليَّةُ الكهرضوئيّة:

تتألّفُ الخليّة الكهرضوئيّة من حبّابة زجاجيّة من الكوارتز مُخلّاة من الهواء، تحتوي مَسرىً معدنيّاً يُغطّي سطحَه طبقةٌ رقيقةٌ من معدنٍ قلويٍّ تتلقّى الضَّوءَ، يُسمّى المهبط C، كما تحتوي على مسرىً آخرَ يُسمَّى المصعد A.



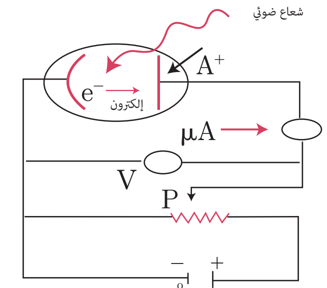
نشاط:

في إحدى التّجاربِ على دارةِ خليَّةٍ كهرضوئيّة، أسقطْنا ضوءاً وحيدَ اللّونِ على مهبط الخليّة، وكانَت النّتائجُ المُسجّلة لشدّةِ التيّارِ المارّ فيها I(mA) من أجلِ فرقِ الكمونِ المُطبّق بينَ المصعدِ والمهبطِ U_{AC}، وفقَ الجدولِ الآتي:

U_{AC}(V)	−6	−5	−1	−0.95	0	2	5	10	15	20
I(mA)	0	0	0	1	2	3	6	7	7	7

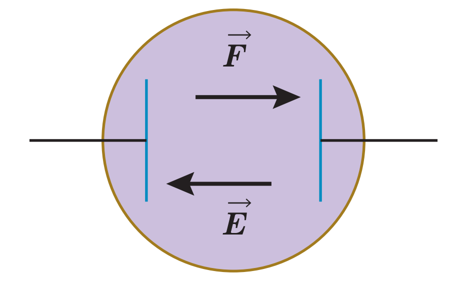
المطلوب:

1. أرسمُ الشّكلَ البيانيّ لتغيُّراتِ الشّدّة $I(\text{mA})$ بدلالة U_{AC}.
2. أتساءلُ هل يمرُّ تيارٌ كهربائيٌّ في الدّارة عندَ تطبيقِ توتُّرٍ عكسيّ (من أجلِ كمون المهبط أعلى من كمون للمصعد)؟



3. أفسِّرُ عدمَ مرورِ تيّارٍ كهربائيّ في الدَّارة من أجلِ $U_{AC} \le -1\,\text{V}$ ؟
4. أتساءلُ، ما أصغرُ قيمةٍ لفرق الكمون بينَ المصعد والمهبط التي يمرُّ من أجلِها تيارٌ كهربائيٌّ في الدّارة؟ وأفسِّرُ ذلك.
5. أفسِّرُ مرورَ تيّارٍ كهربائيّ في الدّارة من أجلِ قيمةِ فرق الكمون $U_{AC} = 0$.
6. أفسِّرُ زيادةَ شدّة التيّار المارّ في الدارة بزيادةِ فرقِ الكمون المُطبَّق حتّى $U_{AC} = 10\,\text{V}$ عندَ تطبيقِ توتُّرٍ مُباشَر (أي كمون موجب للمصعد بالنّسبة للمهبط).
7. أتساءلُ عن سببِ ثباتِ شدّةِ التيّار من أجلِ فرقِ الكمون المُطبّق $U_{AC} \ge 10\,\text{V}$.





عندَ تعرُّضِ المهبط للحزمة الضّوئيّة تُنتزَعُ بعضُ الإلكتروناتِ من الصّفيحة، وتنطلقُ بسرعةٍ غيرِ معدومة:

- **عندَما يكونُ كمونُ المهبط أعلى من كمونِ المصعد، وتكونُ قيمةُ فرقِ الكمون $U_{AC} < -U_0$، تخضعُ الإلكتروناتُ لقوّةٍ كهربائيّةٍ تعاكِسُ جهةَ الحقل الكهربائيّ (الذي يتّجهُ من المهبط إلى المصعد)، وتعملُ هذه القوّة على إعادةِ الإلكتروناتِ إلى المهبط، ولا يمرُّ تيارٌ كهربائيٌّ في الخليّة.**
- **بتخفيض التّوتُّر بالقيمة المُطلَقة والوصول إلى $U_{AC} = -U_0$ (حيثُ U_0 يسمّى كمون الإيقاف)، تبدأُ بعضُ الإلكترونات بالوصول إلى المصعد على الرّغم من إبطاء الحقل الكهربائيّ لحركتها باتّجاه المصعد، فيمرُّ تيّارٌ، وكلّما صغُرَ فرقُ الكمون بقيمتِه المُطلَقة ازدادَ عددُ الإلكتروناتِ التي تصلُ إلى المصعد، فتزدادُ شدّةُ التيّار نتيجةَ ذلك.**
- **عندَما يصبحُ كمونُ المصعد أعلى من كمون المهبط تعملُ القوّة الكهربائيّة على تسريعِ الإلكتروناتِ المُتّجهة إلى المصعد، وتزدادُ بذلك عددُ الإلكترونات الّتي تصلُ إليه، وتزدادُ شدّةُ التيّار نتيجة لذلك حتّى تصلُ قيمتُها العُظمى $I = I_s$، وعندَ هذه القيمةِ تصلُ جميعُ الإلكترونات المُنتزَعة من المهبط إلى المصعد ونقولُ إنّ التيّارَ وصلَ إلى حالةِ الإشباع.**
- **توتُّر الإيقاف: أقلُّ توتُّرٍ كهربائيّ عكسي يكفي لمنعِ وصولِ الإلكتروناتِ الضّوئيّة من المهبط إلى المصعد؛ أي لجعلِ التيّار الكهرضوئيِ معدوماً.**
- **ماذا يحدثُ لو أعدْنا التّجربةَ بعدَ زيادة استطاعة الحزمة الضّوئيّة؟ تزدادُ شدّةُ تيّارِ الإشباع بزيادة الاستطاعة الضّوئيّة.**

تُكتَبُ استطاعةُ موجةٍ كهرطيسيّة تسقطُ على سطح بالعلاقة: $P = N\,h\,f$

حيثُ N عددُ الفوتونات التي يتلقّاها السّطح في واحدةِ الزّمن.

تطبيق:

تبلغُ شدّة التيّار في خليّة كهر ضوئيّة 16 m.A، المطلوبُ حسابُ:

1. عدد الإلكترونات الصّادرة عن المهبط كلّ ثانية.
2. الطّاقة الحركيّة لأحدِ الإلكترونات المُنتزَعة لحظةَ وصولِها المصعد باعتبارِ أنّه تركَ المهبط دونَ سرعةٍ ابتدائيّة. وأنّ التّوتُّر الكهربائيّ بينَ المصعد والمهبط 180 V.

الحلّ:

1. $n = \frac{q}{e} = \frac{i\,t}{e} = \frac{16 \times 10^{-3} \times 1}{1.6 \times 10^{-19}} = 1 \times 10^{17}$

2. $E_k = e\,U_{AC} = 1.6 \times 10^{-19} \times 180 = 288 \times 10^{-19}\ \text{J}$

تعلّمتُ

- **فرضيّة بلانك:** افترضَ بلانكُ أنّ الضّوءَ والمادّةَ يُمكِنُهما تبادلُ الطّاقة من خلال كمّيّات مُنفصِلة من الطّاقة.
- **فرضيّة أينشتاين:** افترضَ أينشتاين أنّ الحزمةَ الضّوئيّة مُكوَّنة من فوتوناتٍ (كمّات الطّاقة) يحملُ كلٌّ منها طاقةً تُساوي $E = h \cdot f$، ويحصلُ تبادُلٌ للطّاقة معَ المادّةِ من خلالِ امتصاصٍ أو إصدارِ فوتونات.

  ويتمتّعُ الفوتون بالخواصّ الآتية:
  1. الفوتون أو (حبيبة الطّاقة) هو جُسيمٌ يواكبُ موجةً كهرطيسيّةَ ذات التّواتُر f.
  2. شحنتُه الكهربائيّة معدومةٌ.
  3. يتحرَّكُ بسرعةِ انتشارِ الضّوء.
  4. طاقتُه تُساوي $E = h \cdot f$.
  5. يمتلكُ كمّيّة حركة $P = \frac{h}{\lambda}$.
- **الفعلُ الكهرضوئيّ:** انتزاع الإلكترونات الحرّة من المادّة عندَ تعرُّضها لإشعاعاتٍ كهرطيسيّة مُناسِبة، يجري انتزاعُ الإلكترونات من المعدن إذا كانَ طولُ الموجة الضّوئيّة الوارِدة على المعدن أصغرَ أو يساوي طولَ موجةِ العتبة اللازمة للانتزاع.
- **الخليّة الكهرضوئية:** تتألّف الخليّة الكهرضوئيّة من حبابة زجاجيّة من الكوارتز مُخلّاة من الهواء، تحتوي مسرى معدني يغطي سطحه طبقة رقيقة من معدن قلوي تتلقّى الضّوء، يسمى المهبط C، كما تحتوي على مسرى آخر يسمى المصعد A.



أختبر نفسي

أولاً: اخترِ الإجابة الصّحيحة لكلٍّ ممّا يأتي:

1. الحزمةُ الضّوئيّة حزمةٌ من الجُسيمات غيرِ المرئيّة تسمّى:
   - a. نترونات.
   - b. فوتونات.
   - c. إلكترونات.
   - d. بروتونات.
2. يزدادُ عددُ الإلكترونات المُقتلَعة من مهبط الحُجيرة الكهرضوئيّة بازدياد:
   - a. تواتُر الضّوء الوارِد.
   - b. شدّة الضّوء الوارد.
   - c. كتلة صفيحة مهبط الحُجيرة.
   - d. تواتُر العتبة.
3. تزدادُ الطّاقةُ الحركيّة العُظمَى للإلكترون لحظة مُغادَرته مهبط الحُجيرة الكهرضوئيّة بازدياد:
   - a. تواتُر الضّوء الوارِد.
   - b. شدّة الضّوء الوارد.
   - c. سماكة صفيحة مهبط الحُجيرة.
   - d. تواتر العتبة f_s.

4. يحدثُ الفعلُ الكهرضوئيّ بإشعاعٍ ضوئيٍّ وحيدِ اللَّون تواتُره:

a. $f = 0$ b. $f < f_s$ c. $f = f_s$ d. $f > f_s$

5. يجري انتزاع الإلكترون من سطحِ معدنٍ ما إذا كانَت طاقةُ الفوتون:

a. معدومةً. b. تساوي طاقةَ الانتزاع.

c. أكبرَ من طاقةِ الانتزاعِ. d. أصغرَ من طاقةِ الانتزاع.

ثانياً:
يسقطُ فوتونُ طاقتِه E على معدنٍ، ويصادفُ إلكتروناً طاقةُ انتزاعه E_s، ويقدّم له كاملَ طاقته.
المطلوب:

1. اشرحِ ما يحدثُ للإلكترون إذا كانَت:
   a. طاقةُ الفوتون أقلَّ من طاقة الانتزاع.
   b. طاقةُ الفوتون أكبرَ من طاقةِ الانتزاع.
2. ما الشَّرطُ الذي يجبُ أن يحقّقَه طولُ موجة الضَّوء الواردِ لتعملَ الحُجيرة الكهرضوئيَّة؟

ثالثاً: حُلّ المسائلَ الآتية:

المسالة الأولى:
يسقطُ ضوءٌ بتواتُر 7.3×10^{14} Hz على معدنٍ، طاقةُ الانتزاعِ لديه 3.2×10^{-19} J.
المطلوب:

1. بيّن بالحسابِ، أتُنتزعُ الإلكترونات من سطح المعدن أم لا؟
2. احسبْ طاقتَها الحركيّة في حالِ انتزاعِها.

المسالة الثّانية:
يُضِيءُ منبعٌ ضوئيٌّ وحيدُ اللّون طولُ موجتِه $0.5\,\mu$m حجيرة كهرضوئيّة، طاقةُ انتزاع الإلكترون فيها $Es = 33 \times 10^{-20}$ J
المطلوب:

1. احسب تواتُر العتبة.
2. احسب طول موجةِ عتبةِ الإصدار.
3. احسب الطّاقة الحركيّة العُظمَى للإلكترونِ لحظةَ خروجِه من مَهبطِ الحجيرةِ وسرعتِه.

المسالة الثّالثة:
إذا كانَ أكبرُ طولِ موجةٍ يلزمُ لانتزاعِ الإلكترونِ من سطحِ مهبطِ حُجَيرة كهرضوئيّة يُساوِي 66×10^{-8} m
المطلوب:

1. طاقة انتزاع الإلكترون من مادّة المهبط.
2. كميّة حركة الفوتون الوارِد عندَما يُضاءُ سطحُ صفيحة المهبط بضوءٍ وحيدِ اللّون، طولُ موجتِه 44×10^{-8} m
3. الطّاقة الحركيّة للإلكترون لحظةَ خروجِه من مهبطِ الحجيرة الكهرضوئيّة.
4. قيمة كمونِ الإيقاف.

المسالة الرَّابعة:

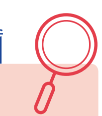
احسبْ تواتُر العتبة لخليّة كهرضوئيَّة تحوي صفيحةً من معدن السّيزيوم عندَما يرِدُ عليها ضوءٌ وحيدُ اللّون، طولُ موجته 5×10^{-7} m ، علماً أنَّ طاقةَ الانتزاع لدى السّيزيوم تُساوي 3×10^{-19} J ثمَّ احسبِ الطّاقةَ الحركيّةَ للإلكترون المُنتزَع وسرعةَ الإلكترون.

$h = 6.64 \times 10^{-34}$ Js ثابتُ بلانك، $c = 3 \times 10^{8}$ m.s^{-1} سرعةُ انتشار الضَّوء في الخلاءِ، $m_e = 9.1 \times 10^{-31}$ kg كتلةُ الإلكترون.



تفكير ناقد

ابحثْ في مكتبةِ مدرسِتك أو في الشَّابكة عن ظاهرةِ الإصدار الكهرضوئيّ باستخدامِ نموذجِ بئرِ الكمونِ.



أبحث أكثر

إنّ نظريةَ الكمّ وفرضيّة دبرولي وما ترتَّبَ عليهما تؤكِّدانِ و تثبتانِ وجودَ الخاصّة الثّنائيّة في كلٍّ من الضَّوء و المادّة. اعتماداً على فرضيّات دوبرولي فسر تشكّل أهداب التّداخُل للإلكترونات عندَ إمرارِ حزمةٍ منها خلالَ شريحةٍ رقيقةٍ من الألمنيوم.

6

الفيزياءُ الطبيّة
الأشعّة السّينيّة X-Ray

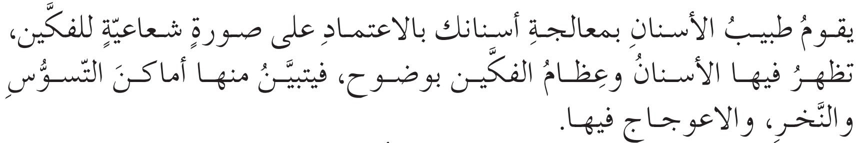
الأهداف:

* يتعرَّفُ الأشعّةَ السّينيّةَ وآليةَ توليدِها.
* يشرحُ طبيعةَ الأشعّة السّينيّة وخواصَّها.
* يوازنُ بينَ الأشعّةِ السّينيّة والفعل الكهر ضوئيّ من حيثُ الاصدار.

الكلمات المفتاحية:

* الأشعّةُ السّينيّة.
* طبيعةُ الأشعّةِ السّينيّة.
* امتصاصُ الأشعّةِ السّينيّة.
* نفاذُ الأشعّةِ السّينيّة.

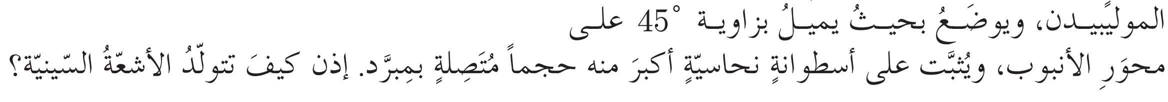




يقومُ طبيبُ الأسنانِ بمعالجةِ أسنانك بالاعتمادِ على صورةٍ شعاعيّةٍ للفكَّين، تظهرُ فيها الأسنانُ وعِظامُ الفكَّين بوضوح، فيتبيَّنُ منها أماكنَ التّسوُّسِ والنَّخرِ، والاعوجاج فيها.
ما طبيعةُ الأشعّةِ المُستَخدَمة في التّصوير الشُّعاعيّ؟
وكيفَ يُمكِنُها تجاوزُ النُّسج الحيَّة في الوجه؟
ولماذا يرتدي العاملونَ في مراكزِ التصوير ألبسة خاصة بهم؟
اكتشفَ وليم رونتجن الأشعّةَ السّينيّة عامَ (1895)م مُصادَفة في أثناءِ دراستِه الأشعةَ المهبطيّة في أنبوب كروكس، فقد لاحظَ أثرَها، وقدرتَها العالية على النّفاذ من خلال بعضِ المواد، وأطلقَ عليها اسمَ $(X-Rays)$ ، وأدركَ رونتجن أنَّ هذه الأشعّة تتولّدُ عندَما تسقطُ حزمةً من الإلكترونات ذاتِ الطّاقةِ العالية على هدفٍ من معدنٍ ثقيل.

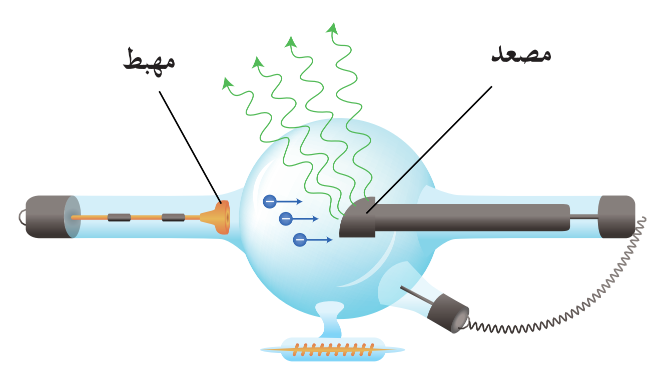
آليةُ توليد الأشعّة السّينيّة:

يُستخدَمُ لَتوليدِها أنبوبُ كوليدج، وهو أنبوبٌ زجاجيّ مُخلّىٍ من الهواء تخليةً شديدةً، حيثُ يبلغ الضَّغطُ داخلَه $10^{-6}\,\mathrm{mmHg}$ تقريباً، ويحوي الأنبوب سلكاً مصنوعاً من التنغستين، يُسخّن لدرجةِ التوهُّج بوساطة تيّارٍ كهربائيّ، وذلكَ بوصلِه بمجموعةِ مُولّدات، يحيطُ بالسّلك مهبطُ معدنيٌّ مُقعَّر الشّكل يعملُ على عكس حزمةِ الإلكتروناتِ المُنبعِثة من السّلك وتجميعها على الهدفِ الموصول بالمصعَد (مُقابِل المهبط)، ويُصنَعُ الهدفُ من معدنٍ ثقيلٍ، درجةُ حرارةِ انصهارِه مُرتفعة جدّاً مثل الموليبدن، ويوضَعُ بحيثُ يميلُ بزاوية 45° على



محورِ الأنبوب، ويُثبّت على أسطوانةٍ نحاسيّةٍ أكبرَ منه حجماً مُتَصِلةٍ بِمبرّد. إذن كيفَ تتولّدُ الأشعّةُ السّينيّة؟

نشاط (1):



أنظرُ إلى الشّكل المُجاور، وأجيب:

1. أحدِّدُ ما يحدثُ عندَ تسخينِ سلكِ التنغستين؟
2. أحدِّدُ ما يحدثُ عندَ تطبيقِ توتُّرٍ عالٍ مُتواصِل U_{AC} من رتبة $(10^4 - 10^5)\,\mathrm{V}$ بينَ المصعد والمهبط.
3. ماذا ألاحظُ عندَ اصطدامِ الإلكترونات المُسرّعة بذرّات الهدف، وما تفسيرُ ذلك؟
4. أعلّلُ سببَ وجودِ المُبرِّد المُتصِل بأسطوانةِ النُّحاس.

النّتائجُ:

- **تُنتزَعُ إلكتروناتُ من سلكِ التّنغستين نتيجةَ تسخينِه لدرجةٍ مُناسِبة.**
- **تُسرَّعُ الإلكتروناتُ المُنتزَعة بالحقل الكهربائيّ الشديد المُطبّق بينَ المصعد والمهبط.**
- **تصطدمُ الإلكتروناتُ المُسرّعة بذرّاتِ الهدف، يؤدّي جزءٌ منها إلى انتزاعِ إلكترون من إلكترونات الطبقة الدّاخليّة في ذرّات الهدف، ويُخلِّفُ وراءه ثقباً.**
- **ينتقلُ أحدُ إلكترونات من الطبقاتِ الأعلى(العليا) لذرّاتِ مادّة الهدفِ بسرعةٍ ليحلَّ في الثّقب، ويترافقُ ذلك بإصدار فوتوناتٍ ذاتِ طاقةٍ عاليةٍ جداً (أمواج كهرطيسيّة) هي الأشعّة السّينيّة.**
- **عندما يمر الالكترون بسرعة عالية بالقرب من النواة فإنه سوف ينحرف عن مساره بفعل القوة الكهربائية الجاذبة فيفقد جزء من طاقته وتتحول إلى أشعة (X) ويطلق عليها أشعة الكبح.**
- **يؤدّي اصطدامُ الجزءِ الأكبرِ من الإلكتروناتِ المُسرَّعة بذرَّاتِ الهدفِ إلى تحوُّلِ كاملِ طاقتِها الحركيّة إلى طاقة حراريّة في مادّة الهدفِ فترتفعُ حرارتُها، ممَّا يستدعي تبريدُها. طالما أنَّ الأشعّة السّينيّة هي أمواجُ كهرطيسيّة، فما أقصرُ طولِ موجة λ_{min} يُمكِنُ أن تنطلقَ بها فوتونات الأشعّة السّينيّة؟ وعلى ماذا يتوقّفُ ذلك؟**

- **طاقة الفوتونات تُساوي بقيمتِها العُظمى الطّاقة الحركيّة للإلكترونات المُسرَّعة التي تُسبِّبُ اصدارُها.**

$$E = E_k \ldots\ldots\ldots (1)$$

$$hf_{max} = e\,U_{AC} \ldots\ldots\ldots (2)$$

بالمُساواة بينَ (1) و (2) نجدُ:

$$h\frac{c}{\lambda_{min}} = e\,U_{AC}$$

$$\lambda_{min} = \frac{h\,c}{e\,U_{AC}}$$

وهي علاقةُ طولِ المَوجة الأصغري للأشعة السّينيّة.

حيثُ U_{AC} فرقُ الكمونِ الكهربائيّ المُطبَّق بينَ طرفَي الأنبوب، $c = 3 \times 10^8 m.s^{-1}$ سرعةُ انتشارِ الضَّوء في الخلاء.

- **أَستنتجُ أنّ أقصرَ طولِ مَوجةٍ لفوتون الأشعّة السّينيّة يتوقّفُ على فرق الكمون الكهربائيّ المُطبَّق بينَ طرفَي أنبوبِ توليدِ الأشعّة السّينيّة.**

- **يُمكِنُ تغييرُ قيمة فرق الكمون الكهربائيّ بينَ المصعدِ والمهبط بتغيير وضع الزالِقة (ق)، فيغيّرُ ذلك من طاقةِ تسريعِ الإلكترونات، فتتغيّرُ الطّبقة الذّرّيّة التي يقتلع منها إلكترونات في ذرات صفيحة الهدف وتتغير بالتالي طاقة أشعة X – الصّادرة. أمّا تغييرُ وضع الزالِقة (م) فيغيّرُ من حرارةِ سلكِ التّسخين ممّا يغيّرُ من عددِ الإلكترونات الّتي يصدرُها، فتتغيَّرُ شدّةُ (كثافة) الأشعّة المهبطيّة وتتغيّرُ بالتّالي شِدّة أشعّة X – .**

- **يُظهِرُ تحليلُ طيفِ أشعّة X – الصّادرة عن أنبوب انفراغ أنّه عبارةٌ عن طيفَين أحدُهما مُستمِرٌّ (مجال مُستمِرّ من الأطوال المَوجيّة)، والآخرُ عبارة عن خطوطٍ مُتميّزةٍ حادّةٍ وساطِعةٍ ومُنفصِلة عن بعضِها تقعُ فوقَ الطّيفِ الأوّل، تُسمّى الأشعّةُ التي تُسبِّبُ الطّيفَ الأوّل (المُستمِرّ) بأشعةِ الكبح الإلكتروني، وتُنتِجُ عن فقدانِ الإلكتروناتِ المُسرّعة لطاقتِها عندَما تكبحُ (تبطئُ) عندَ اصطدامِها بصفيحة الهدف، أمّا الأشعّةُ التي تسبِّبُ الطّيفَ الآخرَ المُؤلَّف من الخطوط الحادّة المُنفصِلة فتنتجُ عن الانتقالاتِ الإلكترونيّة لملءِ الثّقوب الدّاخلية في الذّرّات المُهيّجة في صفيحة الهدف.**

خواصّ الأشعّة السّينيّة:

1. ذاتُ طبيعةٍ مَوجيّة، فهي أمواجٌ كهرطيسيّة، أطوالُ موجاتِها قصيرةٌ جداً، تتراوح بين 13.6 nm و 0.001 nm لذلكَ تكونُ طاقتُها عاليةً جداً وهي أقصر بكثير من أطوال الأمواج الضوئية.
2. ذاتُ قدرةٍ عاليةٍ على النّفاذ بسببِ قصرِ طولِ موجَتها.
3. لا يُمكِنُ أن تصدرَ أشعّة X – إلّا من ذرّاتِ العناصر الثّقيلة نسبيّاً بعدَ تهييجِها بطريقةٍ مُناسِبة، أو من الإلكتروناتِ المُسرّعة بعَد كبحِها ضمنَ وسطٍ ماديّ.
4. تشبهُ الضَّوءَ المَرئيّ من حيثُ الانتشار المُستقيم والانعكاس والتّداخُل والانعراج، وسرعةُ انتشارِها تساوي سرعةَ انتشارِ الضَّوءِ في الخَلاء.
5. لا تملكُ شحنةً كهربائيّة، فلا تتأثّرُ بالحقلَين الكهربائيّ والمغناطيسيّ.
6. تسبّبُ تألّق المواد التي تسقطُ عليها: بسببِ قدرتِها على إثارةِ ذرّات هذه المواد، وتؤثّرُ في أفلام التّصوير.
7. تؤثّرُ في الأنسجة الحيّة: تتخرّبُ الخلايا الحيّة إذا استمرَّ تعرُّضُها لهذه الأشعّة، (تستطيعُ جرحَ أو قتلَ الخلايا الحيّة وأحياناً إحداثَ تغيُّراتٍ عضويّة فيها). لذا تُستعمَلُ الألبسةُ التي يدخلُ في تركيبِها الرّصاصُ

للوقاية من الحروقِ الّتي تسبّبُها هذه الأشعّة.

8. تؤيّنُ الغازاتِ: فوتوناتُ الأشعّة السّينيّة ذاتُ طاقةٍ كبيرةٍ تكفي لتأيين الغازِ الذي تخترقُه.

قابليّةُ امتصاصِ ونفاذُ الأشعّة السّينيّة:

تتوقّفُ قابليّةُ امتصاصِها ونفاذِها على:

1. **ثخن المادّة:** تزدادُ نسبةُ الأشعّة المُمتصّة وتقلُّ نسبةُ النّافذة منها كلّما ازدادَ ثخنُ المادّة.
2. **كثافة المادّة:** تزدادُ نسبةُ الأشعّة المُمتصّة بازديادِ كثافة المادّة، كالرَّصاص و الذّهب والعظام، وتقل نسبة النافذة منها بنقصان كثافة المادّة، كالخشب والبلاستيك وجلد الإنسان، لذلك يستخدَمُ نوعٌ منها في تشخيصِ الكسورِ عندَ تعرُّضِ الإنسانِ لحادث.
3. **طاقة الأشعّة:** تتعلّقُ نفوذيّةُ أشعّة $X-$ بطاقتِها المُرتبطة بقيمةِ فرقِ الكمونِ المُطبّق على أنبوبِ توليدِها.



نميز نوعين من الأشعة المستخدمة من حيث الطاقة:

1. **الأشعة اللينة:** أطوال موجاتها $1\,\text{nm} < \lambda < 13.6\,\text{nm}$ طاقتها منخفضة نسبياً وامتصاصها كبير ونفوذها قليل.
2. **الأشعة القاسية:** أطوال موجاتها $0.01\,\text{nm} < \lambda < 1\,\text{nm}$ طاقتها عالية وامتصاصها قليل ونفوذها كبير.

إثراء:

استخداماتُ أشعّة $X-$

الاستخداماتُ الطّبّيّة:

يوجدُ الكثيرُ من الاستخدامات الطّبّيّة لأشعّة $X-$، والتي يُمكِنُ تبويبُ بعضِها بما يأتي:

1. في التّصوير للكشف عن الكسورِ والتّشوُّهات في العظامِ، وكذلكَ عن الأورامِ أو الاختلاطاتِ في أعضاءِ الجسم المُختلِفة، وكذلك في الكشفِ عن نخرِ الأسنانِ والتّشوُّهات في جذورِها.
2. في معالجةِ الأورام السّرطانيّة، حيثُ يُمكِنُ لجرعاتٍ صغيرةٍ من أشعّة $X-$ أن تقتلَ الخلايا السّرطانيّة في حين يكونُ ضررُها أقلَّ بكثيرٍ على الخلايا السليمة، لأنَّ الخلايا السّرطانيّة تكونُ ضعيفةً كونُها تنتجُ عبرَ انقساماتٍ سريعةٍ وغيرِ مُنتظَمةٍ لخلايا غيرِ مُكتمِلة.
3. يُمكِنُ بوساطةِ جهازِ أشعّة $X-$ المُزوّد بشاشةٍ تلفزيونيّةٍ مُشاهدةٍ الأعضاءِ الدّاخليّة لجسمِ المريضِ في أثناءِ أدائِها لوظائفِها كفيلمٍ مُتحرِّك، حيثُ يُعطَى المريضُ عن طريقِ الفم، في البداية، مادّةً غيرَ ضارَّةٍ مثل محلولِ كبريتاتِ الباريوم ثمّ يعرضُ جهازَه الهضميّ لأشعّةِ $X-$ فتمتصُّ كبريتاتُ الباريوم أشعّة $X-$ بكثافةٍ ممّا يجعلُ صورةَ الأعضاءِ التي تحوي هذه المادّة أقلّ تعتيماً ما يجاورُها، الأمرُ الذي يُمكِّنُ من مراقبةِ فعاليّتِها وحركتِها والتّعرُّف إن كانَت طبيعيّةً أم مريضة.
4. تُستخدَمُ أشعّة $X-$ في تعقيم بعض المعدّاتِ الطّبّية التي لا يُمكِنُ تعقيمُها بالحرارة، مثل القفّازات الجراحيّة اللّدنة أو المطّاطيّة، والمُحقِنات البلاستيكية وغيرها.

الاستخداماتُ الصّناعيّة:

تُستخدَم أشعّةُ $X-$ لاختبارِ جودة الموادّ المُصنَّعة بما في ذلك العناصر الإلكترونيّة، حيثُ تظهرُ الشّروخُ والعيوبُ الدّاخليّة في مثل هذه المُنتَجات وتُستخدَم كذلكَ لاختبارِ جودةِ اللّحامات المعدنيَّة.

الاستخداماتُ الزّراعيّة:

تُستخدَمُ أشعّةُ $X-$ في مكافحةِ بعض الحشرات الوبائيّة عن طريق تعقيم الذّكورِ (جعلهم غيرَ قادرين على الإنجاب) بتعريضِهم لجرعاتٍ مُعيَّنة بطاقاتٍ (بأطوالِ مَوجيّة) مُناسِبة. وتُستخدمُ أشعّةُ $X-$، كذلك في تغيير الصّفاتِ الوراثيّة للمُنتَجات الزّراعيّة بُغيةَ تحسينِ الجودةِ والكمّيّة.

الاستخداماتُ العلميّة والبحثيّة:

يُمكِنُ دراسةُ البلّوراتِ وتحديدُ أبعادِها باستخدام أشعّة $X-$، ويُمكِنُ كذلكَ تحليلُ تركيبِ وبنيةِ الموادّ الكيماويةِ المُعقَّدة مثل الأنزيمات والبروتينات باستخدام أشعّة $X-$.

الاستخداماتُ الأُخرى:

تُستخدَمُ أشعّة $X-$ في الكشفِ عن الموادّ الممنوعة ضمنَ الأمتعةِ في المَنافذ الحدوديّة.

تجدرُ الإشارةُ إلى أنّ ما سبقَ هو بعضُ استخداماتِ أشعّة $X-$ في المجالاتِ المُختلِفة... حيثُ توجَد استخداماتٌ أخرى كثيرة أيضاً لأشعةِ $X-$.

تعلّمتُ

- **الأشعّةُ السّينيّة: أمواجٌ كهرطيسيّةٌ، أطوالُ موجاتِها قصيرةٌ جدّاً.**
- **خواصُّ الأشعّة السّينيّة:**
  1. **ذاتُ قدرةٍ عاليةٍ على النّفاذ.**
  2. **تصدرُ عن ذرّاتِ العناصرِ الثّقيلة.**
  3. **تُشبِهُ الضّوءَ المرئيّ.**
  4. **تُسبّبُ التّألقَ لبعضِ الأجسام الّتي تسقطُ عليها**
- **تتوقّفُ قابليّةُ امتصاصِها على:**
  1. **ثخن المادّة.**
  2. **كثافة المادّة.**
  3. **طاقة الأشعة.**



أختبر نفسي

أولاً: اخترِ الإجابةَ الصّحيحة لكلٍّ ممّا يأتي:

1. في أنبوبِ الأشعّة السّينيّة يُمكِنُ تسريعُ الإلكترونات بينَ المهبط والمصعد:

a. بزيادةِ درجةِ حرارةِ سلكِ التّسخين.

b. بزيادةِ التّوتّرِ المُطبّق على دارة تسخين السلك.

c. بزيادةِ التّوتّرِ المُطبّق بينَ المصعد والمهبط.

d. بانقاصِ التّوتّرِ المُطبّق بينَ المصعد والمهبط.

2. يزدادُ امتصاصُ المادّة للأشعّة السّينيّة:

a. بزيادةِ طاقةِ الأشعّة السّينيّة.

b. بزيادةِ كثافةِ المادّة.

c. بنقصانِ كثافةِ المادّة.

d. بنقصانِ ثخانةِ المادّة.

3. الأشعّةُ السّينيّة أمواجٌ كهرطيسيّة:

a. أطوالُ موجاتِها قصيرةٌ وطاقتُها صغيرةٌ.

b. أطوالُ موجاتِها قصيرةٌ وطاقتُها كبيرةٌ.

c. أطوالُ موجاتِها كبيرةٌ وطاقتُها كبيرةٌ.

d. أطوالُ موجاتِها كبيرةٌ وطاقتُها صغيرةٌ.

4. تصدرُ الأشعّةُ السّينيّة عن ذرّات:

a. الهيدروجين.

b. الكربون.

c. الهليوم.

d. العناصر الثقيلة.

ثانياً: فسِّر:

الأشعّةُ السّينيّة ذاتُ قدرةٍ عالية على النّفاذ؟

ثالثاً: اكتب ثلاثاً من خواصّ الأشعّة السّينيّة.

رابعاً : حلّ المسألة الآتية:

يعملُ أنبوبُ الأشعّة السّينيّة بتوتُّر $8 \times 10^4 \text{ V}$ حيثُ يصدرُ عن المهبط إلكترون، سرعتُه معدومةٌ عمليّاً.

المطلوب:

1. احسبِ الطّاقةَ الحركيّة للإلكترون عندَ اصطدامِه بمُقابِل المهبط (الهدف).
2. احسبْ سرعةَ الإلكترون لحظةَ الصّدمة بالهدف.
3. احسبْ أقصرَ طولِ موجةٍ للأشعة السّينيّة الصّادرة.

سرعةُ الضّوء في الخلاءِ	كتلةُ الإلكترون	شحنةُ الإلكترون	ثابتُ بلانك
$c = 3 \times 10^8 \text{ m.s}^{-1}$	$m_e = 9.1 \times 10^{-31} \text{ kg}$	$e = 1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$	$h = 6.64 \times 10^{-34} \text{ J.s}$

تفكير ناقد

للأشعة السينية طيفين خطي ومستمر كيف يتمّ توليد كلّ منهما؟

أبحث أكثر

ابحث في مكتبةِ مدرستِك وفي الشّابكة عن الخدمات الطّبيّة التي تقدّمُها الأشعّة السّينيّة، وكيفَ تَمَكّنَ العالِمُ (فون لاو) من إحداثِ انعراجٍ في الأشعّة السّينيّة.

7





الأهداف:

* يوازِنُ بينَ الإصدارِ التّلقائيّ والإصدارِ المحثوثِ.
* يتعرَّفُ أشعّةَ اللّيزر
* يوضِّحُ الأساسَ الّذي يقومُ عليه عملُ اللّيزر.
* يتعرَّفُ على بعضِ أنواع اللّيزر.



الكلمات المفتاحية:

* الإصدارُ المحثوث.
* الإصدارُ التّلقائيّ.
* اللّيزر.
* الوسط الفعّال.



دخلَت أشعّةُ اللّيزر في العديد من المُنتَجات التّكنولوجيّة فباتَت عنصراً أساسيّاً في تشغيلِ الأقراص المُدمَجة وصناعة الإلكترونيّات وقياس أبعاد الأجسام الفضائيّة، وفي الاتّصالاتِ ومُعدّاتِ قطعِ ولحامِ المعادن وفي آلاتِ طبّ الأسنانِ والعيون. ما اللّيزر وما الّذي يميزه عن المصادر الضّوئيّة الأخرى.

وهو اختصارُ للجملة باللّغة الإنكليزيّة :

(Light Amplification by Stimulated Emission Of Radiation)

وتعني: تضخيمُ الضَّوء بالإصدارِ المحثوث للأشعة.

يستندُ عملُ اللّيزر على ظاهرةِ الإصدار المحثوث.

اللّيزر:

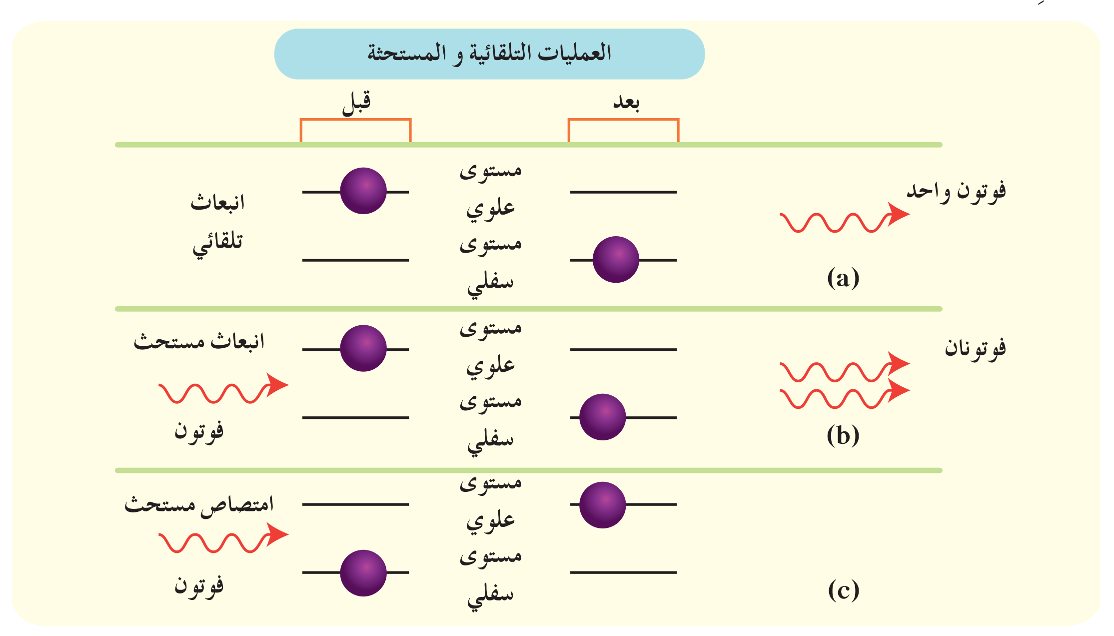
عبارةٌ عن إشعاعٍ كهرطيسيّ (موجات كهرطيسيّة تتكوَّنُ من فوتونات عاليةِ الطّاقة مُتساوية في التّواتُر ومُتَّفِقة في الطّورِ والاتّجاه) يرسلُ كمّيّات مُتساوية من الضّوءِ من حيثُ التّواتُر والطّور، تندمجُ معَ بعضِها البعض لتصبحَ على هيئةِ حزمةٍ ضوئيّةٍ تتّسمُ بالطّاقة العالية، وذات تماسُكٍ شديد.

آليةُ عملِ اللّيزر:

لدينا مادّةٌ ذاتُ نظامٍ ذرّيّ ذي مُستويَين للطّاقة نتساءلُ:

- ما شروطُ توليد اللّيزر؟
- ما الانتقالاتُ التي تحصلُ عندَ امتصاصِ أو اصدارِ الضّوء؟
- ما الانتقالاتُ التي تعملُ على توليد اللّيزر وتحتَ أيَّةِ شروط؟
- هل الانتقالاتُ ضروريّةٌ لانبعاث شعاع اللّيزر؟

1. **امتصاصُ الضّوء:** يحدثُ انتقالُ الذّرّة من مُستوى طاقةٍ أدنى(دنيا) E_1 إلى مُستوى طاقةٍ مُثارٍ E_2 وذلكَ بامتصاصِ فوتون طاقتُه تُساوي فرقَ الطّاقةِ بينَ هَذَين المُستوَيَين أي $\Delta E = E_2 - E_1 = h\,f$



2. **الإصـدارُ التّلقائـيّ:** إذا كانَـت الـذَّرّةُ مُثـارةً فهـي تميـلُ دائمـاً إلـى حالـةِ الاسـتقرار، فتعـودُ تلقائيّـاً بعـدَ مُـدَّةٍ زمنيّـةٍ قصيـرةٍ إلـى المُستوَى الأدنـى، وهـذا يصاحبُـه إصـدارُ فوتـون طاقتُـه تُسـاوي فـرقَ الطّاقـةِ بيـنَ المُسـتوَيَين $\Delta E = E_2 - E_1 = h\, f$

يكـونُ اتّجـاهُ الإصـدارِ التّلقائـيّ عشـوائيّاً، وتكـونُ الفوتونـاتُ الصّـادرةُ غيـرَ مُترابِطـةٍ، أي فـرق الطّـور بيـنَ الأمـواج الكهرطيسـيّة النّاتِجـة غيـر ثابـت.

3. **الإصـدارُ المحثـوثُ:** يحـدثُ عنـدَ تعـرُّض الـذَّرّة المُثـارَة لحزمـةٍ ضوئيّـة يحقّـقُ تواتُرُهـا العلاقـة: $\Delta E = h\, f$ فـرق الطّاقـة. بيـنَ السّـوية المُثـارَة والسَّـوية الأساسـيّة، فـي هـذه الحالـة يـؤدّي مـرورُ فوتـون بجـوارِ الـذّرّة المُثـارة إلـى تحفيـزِ إلكتـرون الـذَّرّة المثـار للعـودة إلـى السَّـوية الأساسـيّة، فيصـدرُ فوتـونٌ آخـرُ يتمتَّـعُ بالخـواصّ الآتيـة:
   - طاقتُه تُساوي طاقةَ الفوتون الوارِد أي لهما التّواتُر ذاتُه.
   - جهةُ حركتِه تنطبق على جهة حركة الفوتون الوارِد.
   - طورُه يُطابِق طورَ الفوتون الوارِد.

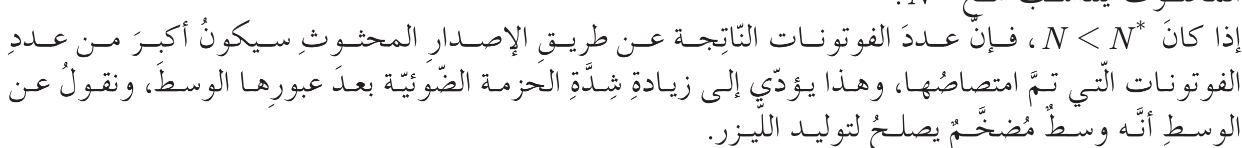
الفرقُ بينَ الإصدارِ المحثوث و الإصدارِ التّلقائيّ:

الإصدارُ التّلقائيّ	الإصدارُ المحثوث
1. يحدثُ بوجودِ حزمةٍ ضوئيّة وارِدة أو بعدمِ وجودِها.	1. يحـدثُ بوجـودِ حزمـةٍ ضوئيّة يحقّـقُ تواتُرها العلاقة: $\Delta E = E_2 - E_1 = h\, f$ حيـثُ (ΔE) هـي فـرقُ الطّاقـة بيـنَ السّـويّة المُثـارة والسّـويّة الأساسيّة.
2. يحدثُ في جميع الاتِّجاهات.	2. جهـةُ الفوتـون الصّـادر هـي نفـسُ جهـة الفوتـون الـوارِد.
3. طورُ الفوتون الصّادرُ يُمكِنُ أن يأخذَ أيَّ قيمة	3. طورُ الفوتون الصّادر يطابقُ طورَ الفوتون الوارِد.

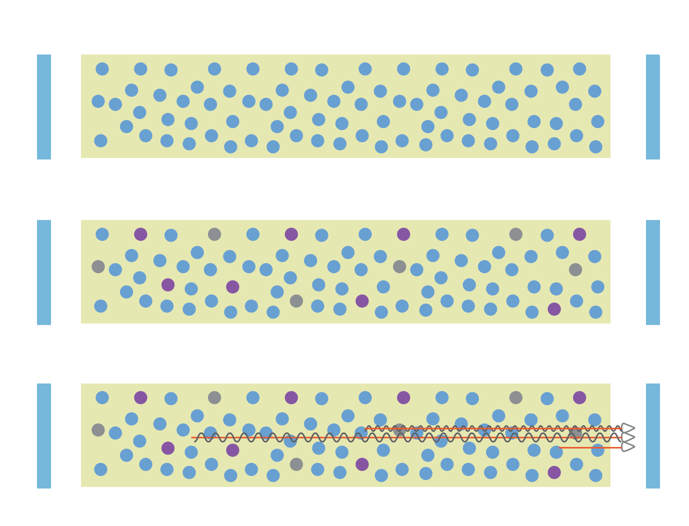
خواصّ حزمة اللّيزر:

1. وحيدةُ اللّوَن، أي لها ذاتُ التّواتُر.
2. مُترابِطةٌ بالطّور، فوتوناتُ الإصدار المحثوث لها طورُ الفوتون الّذي حثّها نفسُه.
3. انفـراجُ حزمـةِ اللّيـزر صغيـرٌ؛ أي لا يتوسَّـعُ مَقطـعُ الحزمـة كثيـراً عنـدَ الابتعـاد عـن منبـعِ اللّيـزر. لذلـك تُسـتخدَم فـي دقّـةِ القيـاس، وتخطيـط الشّـوارع، وخطـوط نقـلِ النّفـط و الغـاز والمـاء لمسـافاتٍ بعيـدة.

مكونات جهاز اللّيزر:



1. **الوسط الفعّال:** يحوي عدداً كبيراً من الذّرّات، سوفَ نركز على حالةٍ تكونُ للذرّة فيها سويّةٌ أساسيّةٌ وسويّةٌ مُثارة، فرقُ الطّور بينهما (ΔE)، تكونُ بعضُ هذه الذّرّات في السّويّة الأساسيّة، وبعضُها الآخرُ في السّويّة المُثارة، بفرضِ أنّ عددَ الذّرّات في السّويّة المثارة N^*، وعددَ الذّرّات في السّويّة غير المثارة N.
إذا عبرَت حزمةٌ ضوئيّة تواتُرها f بحيث $\Delta E = h\,f$، فإنَّ امتصاصَ الفوتونات يتناسبُ طرداً مع N، وإنَّ إصدارَ الفوتونات بالإصدار المحثوث يتناسبُ مع N^*.
إذا كانَ $N^* > N$، فإنّ عددَ الفوتونات النّاتِجة عن طريقِ الإصدارِ المحثوثِ سيكونُ أكبرَ من عددِ الفوتونات الّتي تمَّ امتصاصُها، وهذا يؤدّي إلى زيادةِ شِدَّةِ الحزمة الضّوئيّة بعدَ عبورِها الوسطَ، ونقولُ عن الوسطِ أنَّه وسطٌ مُضخَّمٌ يصلحُ لتوليد اللّيزر.
إذا كانَ $N^* < N$، فإنَّ عددَ الفوتونات الناتِجة عن طريقِ الإصدار المحثوث سيكونُ أصغرَ من عددِ الفوتونات التي جرى امتصاصُها، ومن ثمّ سوفَ تنقصُ شِدَّةُ الحزمة بعدَ عبورِها الوسطَ، ولا يُمكِنُ للوَسط أن يولِّد اللّيزر.



2. **حجرةُ التّضخيم (المِرنان):** تتكوَّنُ من مِرآتَين توضَعُ المادّة الفعّالة (الوسط المُضخَّم) بينهما، وتكونُ المِرآتان مُستويتَين أو أحدُهما مُستويةً. يتمُّ وضعُ الوسط المُضخَّم بينَ المرآتين التي تسمحُ كلٌّ منهما للحزمة الضّوئيّة بالانعكاس من جديد باتّجاه الوسط المُضخّم، نجعلُ عاكسيّة إحدى المِرآتَين كاملةً بينَما تكونُ عاكسيةُ الثانية غيرَ كامِلةٍ ممّا يسمحُ بخروج جزءٍ من الحزمة الضّوئيّة إلى الوسط الخارجيّ، الذي يُشكّلُ اللّيزرُ جزءاً منه. توليدُ أشعّة اللّيزر يعتمدُ على إعادةِ تمرير الحزمة الضّوئيّة في الوسط المُضخّم مرّاتٍ عديدة ووفق المَنحى نفسه، وكلّما ازدادَ عددُ الحزم الضّوئيّة المارّة في الوسط ازدادَ عددُ الإصدارات المحثوثة التي تتّفقُ مع الحزمة بالاتّجاه ومعَ الفوتونات بالتواتُر والطّور، ممّا يزيدُ من طاقةِ الحزمة أي يُضخِّمها.

3. **جملةُ الضَّخّ:** الإصدارُ المحثوث يعيدُ الذّرّات إلى السّويّة الأساسيّة، فلا بدَّ من مؤثِّرٍ خارجيّ (مصدر ضوئيّ مُناسِب) على الوسط المُضخَّم يقومُ بتقديم طاقةٍ للوسَط المُضخّم، الذي يعمل على إثارة الذّرّات للتّعويض عن انتقال الذّرّات إلى الحالة الأساسيّة نتيجة الإصدار المحثوث. وهناك ثلاثةُ أنواعٍ من طُرق الضّخّ:

a. الضَّخّ الضّوئيّ: تُستعمَلُ مصابيحُ (ومّاضة) للحصول على ليزراتٍ تعملُ ضمنَ الطّيفِ المَرئيّ أو طيف تحت الحمراء القريب منه مثل اللّيزر الياقوتيّ.

b. الضَّخّ الكهربائيّ: عن طريق التّفريغِ الكهربائيّ للغازِ داخلَ الأنبوب، وتُستعمَلُ هذه الطّريقةُ في اللّيزرات الغازيّة واللّيزر شبه الناقل.

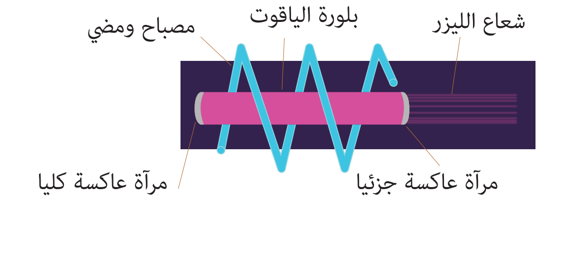
c. الضَّخّ الكيميائيّ: يكونُ التّفاعُلُ الكيميائيّ بينَ مُكوّناتِ الوسطِ الفعّالِ أساسَ توليدِ الطّاقة لتوليدِ اللّيزر ولا تحتاجُ لمصدرِ طاقةٍ خارجيّة.

بعضُ أنواعِ اللّيزر:

اللّيزرات الغازيّة:

يكونُ الوسطُ المُضخَّم غازيّاً. مثل ليزر (هليوم – نيون) يُستخدَمُ في المَخابر، ويتمتَّعُ بطولِ مَوجةٍ $(\lambda = 0.638 \mu m)$

يستخدمُ هذا اللّيزر الانفراغَ الكهربائيّ لإثارةِ الذّرّات.



اللّيزرات الصّلبة:

ليزر نصف النّاقل: وفيه يكونُ الوسطُ المُضخَّم من مادّة نصف ناقِلة، يُستخدَمُ في الاتّصالات.

اللّيزر الياقوتيّ:

هو ليزرٌ يكونُ فيه الوسطُ الفعّالُ مادّة الياقوت.

اللّيزراتُ السّائلة:

يُستخدَمُ فيه كلوريدُ الألمنيوم المُذاب في الكحولِ الإتيلي كوسطٍ فعّال.

استخداماتُ اللّيزر:



يُستخدَمُ في الطّبّ ولاسيّما في طبّ العيونِ والعملياتِ الجراحيّة، والجلد وإزالة الشّعر والوشم.

يُستخدَمُ في إظهارِ الصّورِ ثلاثيّة الأبعاد: ويُسمّى (هولو غرام).

يُستعمَلُ في المجالات العلميّة و التّجاريّة: كالتَّحليل الطّيفيّ والأقراص المُدمَجة، ومُؤشّرات اللّيزر، وماسحات الباركود.

يُستخدمُ في الصّناعة: في عمليّات لحام وقصّ المعادن وثقبها.

يُستخدمُ في البيئة: مراقبة تلوُّث الجو.

يُستخدَمُ في المجالاتِ العسكريّة: في تحديدِ المدى توجيه الصّواريخ.

يُستخدَمُ في الاتّصالاتِ اللّاسلكيّة بينَ المحطّاتِ الأرضيّة وسفنِ الفضاء.

تعلّمتُ

- اللّيزر: عبارةٌ عن إشعاعٍ كهرطيسيّ يرسلُ كمّيّات من الضّوءِ مُتساوية من حيثُ التّواتُر والطّور تظهرُ على هيئةِ حزمةٍ ضوئيّة تتّسمُ بالطّاقةِ العاليةِ ذاتِ تماسُكٍ شديدٍ.
- الإصدارُ التّلقائيّ: إذا كانَت الذّرّة مُثارةً، لا تبقى طويلاً فسرعانَ ما ينتقلُ إلكترون من سويّة طاقة مُثارَة إلى سويّةٍ طاقيّة أدنى (دنيا)، فتصدرُ الذّرّة فوتون. نُسمّي هذا الإصدار بالإصدار التّلقائيّ.
- خواصّ أشعّة اللّيزر:
  1. وحيدةُ اللّونِ، أي لها التواتُر ذاته.
  2. مُترابِطةٌ بالطّور.
  3. انفراجُ حزمة اللّيزر صغيرٌ.




أختبر نفسي

أولاً: اخترِ الإجابةَ الصّحيحة لكلٍّ ممّا يأتي:

1. تتمتّعُ حزمةُ اللّيزر بإحدى الخواصّ الآتية:
   - a. مُترابِطة في الطّور.
   - b. انفراج حزمة اللّيزر يضيقُ عندَ الابتعادِ عن منبعِ اللّيزر.
   - c. لها أطوارٌ مُختلِفة.
   - d. طول موجتِها أكبرُ من طولِ موجةِ الضّوء الوارِد

2. الإصدارُ التّلقائيّ:
   - a. لا يحدثُ إلّا بوجودِ حزمةٍ ضوئيّة وارِدة.
   - b. يحدثُ بوجود حزمةٍ ضوئيّة واردة على الذّرّة المُثارة أم لم يكن هناك حزمة.
   - c. يحدثُ باتّجاهٍ مُحدّد.
   - d. فوتوناتُه تطابِقُ فوتوناتِ الأشعّة الوارِدة على الذّرّة.

3. إذا عبرَت حزمةٌ ضوئيّةٌ تتمتّعُ بتواتُرٍ مُناسِب الوسطَ المُضخَّمَ فإنَّ امتصاصَ الفوتونات يتناسبُ طرداً معَ:
   - a. عدد الذّرّاتِ في السّوية غيرِ المُثارة.
   - b. عدد الفوتونات.
   - c. درجة الحرارة.
   - d. عدد الذّرّات في السّويّة المُثارة.

4. إذا عبرَت حزمةٌ ضوئيّةٌ تتمتّعُ بتواتُرٍ مُناسِب الوسطَ المُضخَّمَ فإنَّ إصدارَ الفوتوناتِ بالإصدار المحثوث يتناسبُ طرداً مع:

a. عدد الذّرّات في السّويّة غير المُثارة.
b. عدد الفوتونات.
c. درجة الحرارة.
d. عدد الذّرّات في السّويّة المُثارة.

ثانياً: فسّر ما يأتي:

1. لا يُمكِنُ الحصولُ على وسطٍ مُضخَّم من دون استخدامِ مُؤثّرٍ خارجيّ؟
2. لا تتحلّلُ حزمةُ اللّيزرِ عندَ إمرارِها عبرَ موشورٍ زجاجيّ؟

ثالثاً: اكتب خواصَّ حزمةِ اللّيزر.

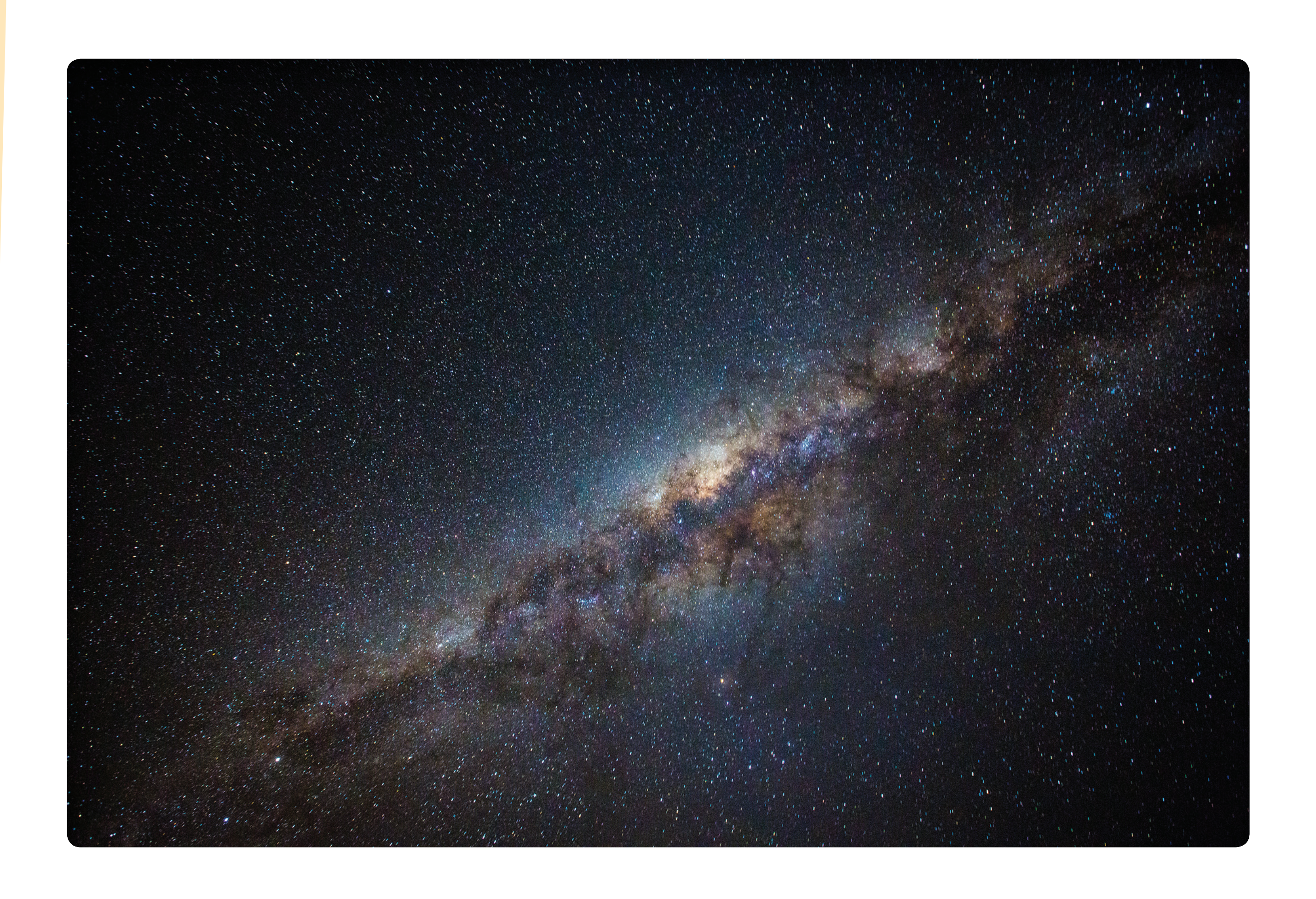
تفكير ناقد

تُصمَّمُ في الوقتِ الرّاهنِ أنواعٌ عديدةٌ من أجهزةِ اللّيزر، ويكتسبُ اللّيزرَ النّاتج اسمه من المواد المُستخدَمة.

أبحث أكثر

أبحثُ في مكتبةِ مدرستِك أو في الشّابِكة عن اللّيزرِ السّائِل، ومَنْ اكتشفَه، وفي أيِّ عامٍ؟. وماهي مادتُه الفعّالة؟

الوحدة الخامسة
الفيزياء الفلكية





1 الفيزياءُ الفلكيَّة



شغلَتِ السّماءُ تفكيرَ الإنسانِ منذُ القِدمِ، وحاولَ دراستَها من خلالِ مواقعِ الأجرامِ المُنيرة فيها وربطِها بأشكالٍ تخيُّليّة ترافقَت في كثيرٍ من الأحيانِ معَ الأساطيرِ، لكنّ الصّورة أصبحَت أكثرَ وضوحاً في القرنِ العشرين بعدَ ظهورِ النّظريّاتِ الحديثةِ كالنّسبيّة العامّة مثلاً وبعدَ أن أمكنَ رصدُ الكونِ من خارجِ الغلافِ الجويّ من خلالِ تلسكوباتٍ ضخمةٍ تدورُ حولَ الأرضِ في مداراتٍ كما الأقمارُ الصّناعيّة كتلسكوب هابل.

ما الذي نراهُ في السماءِ؟

- أنظرُ إلى السّماءِ في ليلةٍ غيرِ غائمةٍ في مكانٍ لا يوجدُ فيه تلوثٌ ضوئيٌّ، أصفُ ما أرى، هل للأجرامِ المُنيرة شِدَّةَ الإضاءةِ نفسِها؟
- أكرّرُ مُراقَبةَ السّماءِ في أكثرِ من يومٍ، هل تبقى جميعُ الأجرامِ في الموقعِ نفسِه؟ وهل يبقى توزُّعُها نفسَه؟

إنّ بعضَ ما أراه كنقاطٍ مُضيئةٍ هي كواكبٌ في مجموعتِنا الشَّمسيّة، وبعضُها نجومٌ، وبعضُها مَجرّاتٌ وغيرُ ذلك، كيفَ أميّزُ بينَها؟

الأهداف:

* يتعرَّفُ المجموعةَ الشَّمسيّة.
* يستدلُّ على مصدرِ الطّاقة الرّئيسيّ في النُّجوم.
* يشرحُ آليّة تحوّلِ الهيدروجين إلى الهليوم.
* يبيّنَ استخدامَ فعلِ دوبلر في الضَّوءِ لمعرفةِ حركة النُّجوم والمَجرّات.
* يتعرّفُ انزياحَ الطّيوفِ الذّرّيّة للنُّجوم.
* يشرحُ أنواعَ النُّجوم المُفرَدة والثُّنائيّة.
* يتعرَّفُ قانونَ هابل.
* يحسبُ أبعادَ النُّجوم بالاعتمادِ على الانزياح الطّيفيّ لها.
* يتعرَّفُ توسعَ الكونِ و نظريّةَ الانفجارِ الأعظم.
* يتعرَّفُ سرعةَ الإفلات.
* يتعرَّفُ الثّقوبَ السّوداء وأفقَ الحدث.
* يتعرَّفُ رصدَ الثّقوبِ السّوداء.

الكلمات المفتاحية:

* جرمٌ سماويّ
* الكوكبُ
* النّجمُ
* المجرّة
* طيوفُ النُّجوم
* الانزياحُ المَوجيّ
* تمدُّدُ الكونِ
* سرعةُ الإفلات
* نصفُ قطر شفارتزشيلد.

النّتائجُ

- إشعاعُ الكواكبِ يبدو أكثرَ ثباتاً من إشعاعِ النُّجوم.
- مواقعُ الكواكبِ متغيّرة أمّا النُّجوم فتبقى في تشكيلات تبدو ثابتة.
- تتحرّكُ الكواكبُ في مجالٍ مُعيَّن بالنّسبة لمُراقِبٍ على الأرض أمّا النُّجومُ فهي تنتشرُ على امتدادِ القبةِ السّماويّة.
- باستخدامِ التّلسكوب تبدو الكواكبُ أكثرَ وضوحاً، أمّا النُّجومُ فتبقى نقاطاً مُضيئةً، وباستخدام التّلسكوبات الدَّقيقة يُمكِنُ التّمييزُ بينَ النُّجومِ والمَجرَّات.

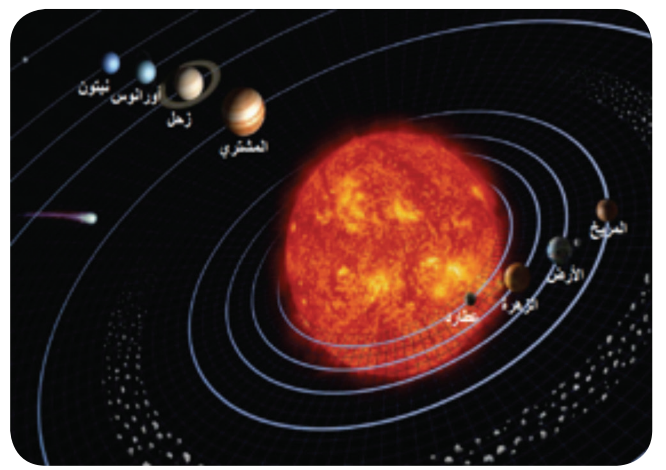
المجموعةُ الشَّمسيّة

أعلمُ أنَّ كواكبَ المجموعةِ الشَّمسيّةِ ثمانيةٌ، أربعةٌ منها غازيّةٌ والباقي صخريّةٌ، أحدِّدُ أيّها الغازيّة، أهي الكواكبُ الأقربُ من الشَّمس أم الأبعدُ عنها؟.

ما مصدرُ الطّاقة الّذي تعطيه الشَّمس؟

أفكِّرُ:

أعلمُ أنَّ الشَّمس كما النُّجوم الأخرى تحوي بشكل رئيسيّ الهدروجين والهليوم، ومعَ مرور الزَّمن تزدادُ كميّة الهليوم و تقلُّ كميّة الهدروجين، وأعلمُ أنّ كتلةَ الشَّمس تقلُّ معَ مرورِ الزّمن، كيفَ أربطُ بينَ ذلك؟





في النُّجوم يندمجُ الهدروجين ليعطيَ الهليوم، ويتحوّلُ النَّقصُ في الكتلةِ نتيجةَ ذلكَ إلى طاقةٍ وفقَ علاقةِ آينشتاين في النّسبية الخاصة $\Delta E = \Delta mc^2$

تطبيقٌ (1):

يتلقّى كلُّ $1m^2$ من سطحِ الأرضِ وسطيّاً $6.3\times10^4 J$ في كلّ ثانيةٍ عندَ التّعرُّض لأشعّة الشَّمس، باعتبارِ أنّ 47% من أشعّةِ الشَّمس تَصلُ إلى سطح الأرضِ والباقي يمتصُّه الغلافُ الجويُّ أو يرتدُّ عنه إلى الفضاء.

احسُبِ النَّقصَ في كتلةِ الشَّمسِ في كلِّ ثانيةٍ، إذا علمتَ أنّ بُعدَها عن الأرضِ 150 مليون كيلومترٍ (يُهمَل بُعدُ الغلافِ الجويّ عن سطحِ الأرض)

الحل:

الطّاقةُ المُقدَّمة لكل $1\,m^2$ من الأرض:

$$E_1 = 6.3 \times 10^4 \times \frac{100}{47} \Longrightarrow E_1 = 13.4 \times 10^4 J$$

فتكونُ الطّاقةُ الكلّيّةُ الصّادرةُ عن الشَّمسِ خلالَ ثانيةٍ هي الطّاقة المُقدَّمة لسطحِ كرَّةٍ مركزُها الشَّمسُ ونصفُ قطرِها 150 مليون كيلومتر.

$$\Delta E = 4\pi r^2 . E_1 = 4\pi\,(150 \times 10^6 \times 10^3)^2 . (6.3 \times 10^4)$$

$$\Delta E \approx 38 \times 10^{27} J$$

هذه الطّاقةُ ناتِجةٌ عن النَّقصِ في كتلةِ الشَّمس وفقَ علاقةِ آينشتاين $\Delta E = \Delta m\, c^2$

$$\Delta m = \frac{\Delta E}{c^2}$$

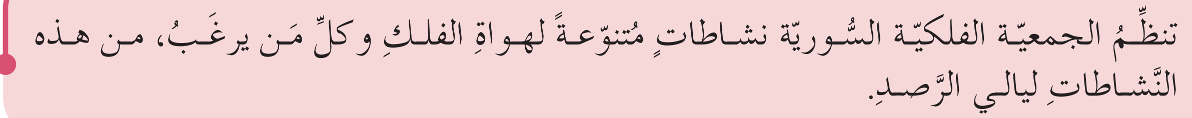
$$\Delta m = \frac{38 \times 10^{27}}{(3 \times 10^8)^2}$$

$$\Delta m = 4.22 \times 10^{11}\ kg$$

وهو مقدارُ النَّقصِ في كتلة الشَّمس في كلِّ ثانيةٍ واحدة.

تحوُّلُ الهدروجين إلى هليوم في النُّجوم (الشَّمس مثلاً):

يفسِّرُ العلماءُ توليدَ النُّجوم للطّاقة من خلالِ العودة إلى كيفيّةِ نشأتِها وفقَ نظريّةِ السَّديم (Nebula Theory) التي تنصُّ على أنّه يبدأُ التّفاعُل النَّوويّ داخلَ النَّجم عندَما تنهارُ سحابةٌ مُكوَّنةٌ من الغازِ والجُسيماتِ (وهي السَّديم) تحتَ تأثيرِ الضَّغطِ النّاتج عن جاذبيَّتِها فيولِّدُ هذا الانهيار كرَّةً كبيرةً من الضَّوء ويبدأُ الاندماجُ بينَ الذّرّاتِ تحتَ تأثيرِ الضَّغطِ والحرارةِ المُرتفعَين، فيندمجُ الهدروجين الذي يشكِّلُ النّسبةَ الأكبر من النَّجم ليتحوَّلَ إلى هيليوم، وتصدرُ الطّاقة نتيجةَ النَّقصَ في الكتلةَ وفقَ علاقةِ آينشتاين.



إضاءة

تنظِّمُ الجمعيّة الفلكيّة السُّوريّة نشاطاتٍ مُتنوّعةً لهواةِ الفلكِ وكلِّ مَن يرغَبُ، من هذه النَّشاطاتِ ليالي الرَّصدِ.

الإشعاعُ النَّجميّ:



أفكِّرُ

هل للنُّجوم اللّونُ نفسُه؟

باعتبارِ الضَّوءِ مَوجةً كهرطيسيّة، كيفَ يختلفُ لونُ الضَّوء؟

هل يتعلّقُ ذلك بتركيبِ النَّجم؟

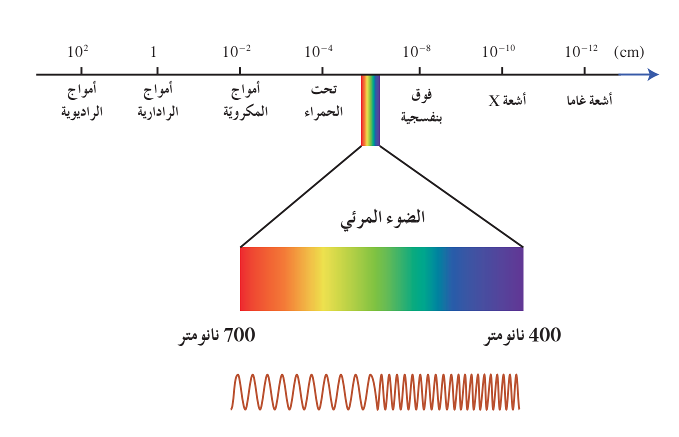
أتذكَّرُ قوانينَ كبلر وكيفيَّة استخدامِها في حسابِ كتلةِ النُّجوم.



أستنتج

يُمكِنُ تحديدُ كتلةِ النَّجم، وعمرِه، وتركيبِه الكيميائيّ، وعدّةِ خصائصَ أخرى بمُلاحَظةِ ودراسةِ طيفِه وشِدَّةِ إضاءَتِه وحركتِه.

الانزياحُ نحوَ الأحمرِ



خلالَ رصدِه للمجرَّاتِ البعيدةِ دُهِشَ العالِمُ "هابل" عندَما لاحظَ انزياحَ طيفِ المَجرّات نحوَ الأحمرِ كلّما كانَت أبعدَ.

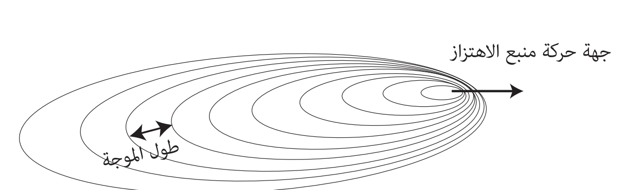
ماذا يعني ذلك؟ هل لهذا علاقةٌ بحركةِ المَجرَّات؟

أعلمُ أنَّ الضَّوءَ هو الطّيفُ المرئيُّ من الأمواجِ الكهرطيسيّة، تتدرّجُ ألوانُه من البنفسجيّ إلى الأحمرِ (ألوان قوسِ قُزح)، وكلّما زادَ الطولُ المَوجيّ اقتربَ اللّونُ مِنَ الأحمرِ.

إذاً ماذا يعني انزياحُ طيفِ المَجرَّاتِ نحوَ الأحمرِ؟ أتتحرَّكُ مُبتعِدةً عنّا أم مُقترِبة منّا؟

إنّ تأثيرَ دوبلر يوضِّحُ لنا ذلك.

تأثيرُ دوبلر



ألاحظُ اختلافَ صوتِ بوقِ السَّيّارة عندَما تمرُّ بجانبي وتتابعُ مُبتعِدةً عنّي، ما السَّببُ؟

أعلمُ أنَّ الصَّوتَ مَوجةٌ، فماذا يحدثُ عندَما يبتعدُ المنبعُ المولِّدُ المَوجةَ (منبع الاهتزاز)عن المُراقِب؟

عندَما يكونُ المنبعُ ساكِناً بالنّسبة للمُراقِب تُشغلُ المَوجةُ مَسافة λ:

$$\lambda = \frac{v}{f}$$

باعتبار f تواتُر الاهتزاز، v سرعة الموجة، λ طول الموجة.

عندَما يتحرَّكُ المنبعُ مُبتعِداً عن المُراقِب بسرعةِ v'،تشغلُ المَوجةُ مسافةَ λ':

$$\lambda' = \frac{v + v'}{f}$$

$$\lambda' = \frac{v + v'}{\frac{v}{\lambda}}$$

$$\lambda' = (1 + \frac{v'}{v})\,\lambda$$

هذا يعني أنَّ λ' أكبرُ من λ

ما الّذي يحدثُ عندَما يزدادُ طولُ موجةِ الضَّوءِ؟

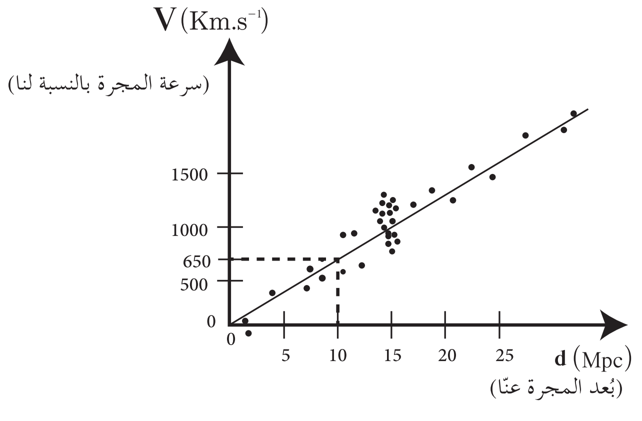


أستنتج

عندما يبتعدُ منبعٌ مَوجيٌّ عن مُراقِبٍ فإنَّ الطولَ المَوجيَّ يزدادُ، وبما أنّ الضّوءَ ذا الطّولِ المَوجيّ الأكبر هو الأحمرُ، فعندما يبتعدُ المنبعُ الضّوئيُّ عن المُراقِبِ ينزاحُ الطّيفُ نحوَ الأحمر.

ثابت هابل

نشاط (1):



أعتمِدُ على التّمثيلِ البيانيّ المُجاورِ وأجيبُ: يعبّرُ التّمثيلُ البيانيّ عن سرعةِ المَجرّاتِ بدلالةِ بُعدِها عنّا وفقَ دراسةِ العالم هابل.

أيُّها أكبرُ، سرعةُ ابتعادِ المجرّات القريبةِ منّا أم البعيدةِ عنّا ؟

أيعني ذلك أنَّ هابلَ وجدَ انزياحاً نحوَ الأحمرِ أم انزياحاً نحوَ الأزرقِ في طيفِ المَجرّاتِ الأكثر بعداً؟

هل يُمكِنُ اعتبارُ أنَّ سرعةَ المجرّاتِ تتغيَّرُ بشكلٍ مُتناسِبٍ مع بُعدِها تقريباً؟

أرمزُ لثابِت التّناسُب (الميل) التّقريبي بـ H_0، وأوجِد العلاقةَ بينَ v، H_0، d.

نتيجة:

لاحظَ هابلُ انزياحَ طيفِ المَجرّاتِ الأكثرِ بُعداً عنّا نحوَ الأحمرِ؛ أي ازدياد في الطّول المَوجيّ، وهذا يعني وفقَ دوبلر زيادةً في سرعةِ الابتعادِ عنّا، وبدراسةِ زيادةِ سرعةِ المَجرّاتِ بدلالةِ بُعدِها عنّا توصّلَ هابل إلى أنّ المَجرّةَ كلّما كانت أبعدَ كانت سرعةُ ابتعادِها أكبرَ وفقَ العَلاقة: $v = H_0 . d$

حيثُ v سرعةُ المَجرّة بالنّسبة لنا، H_0 ثابتُ هابل، d بعدَ المَجرّة عنّا.

تطبيقٌ (2):

1. أحسبُ ثابتَ هابل بدلالةِ الواحدات المُستخدَمة في التّمثيل البيانيّ السّابق، ثمّ بدلالةِ الواحداتِ الدُّوليّةِ عِلماً أنَّ pc (parsec) هو الفرسخُ الفلكيُّ، ويُساوي 3.26 سنةً ضوئيّةً.
2. أحسبُ بُعدَ مجرّةٍ رُصِدَ خطُّ طيفِ الهيدروجين فيها فكانَت نسبةُ انزياحِ طولِ المَوجةِ إلى الطُّول الأصليّ 1/30.
3. كم سنةً يستغرقُ الضّوءُ للوصولِ إلينا من تلكَ المَجرّة؟.

الحلُّ:

1. آخذُ البُعدَ بينَ الصّفر و $10\,Mpc$ مثلاً فأجدُ أنَّ السُّرعة المُقابِلةَ هي بينَ الصُّفر و $680\,km/s$

$$H_0 = \frac{v}{d}$$

وبالواحداتِ الدُّوليّة: $H_0 = \frac{680}{10} = 68 km.s^{-1} / Mpc$

2. لنحسِب، أوّلاً، السَّنةَ الضّوئيّةَ وهي المسافةُ التي يقطعُها الضّوءُ في الخلاءِ خلالَ سنةٍ

$$Light\ year = 3\times10^{8}\times60\times60\times24\times365.25 = 9.46728\times10^{15}\,m$$

$$pc = 3.26\times9.46728\times10^{15}\approx3\times10^{16}\,m$$

$$H_0 = \frac{68\times10^{3}\,m.s^{-1}}{10^{6}(3\times10^{16})\,m} = \frac{68}{3}\times10^{-19}\,s^{-1}$$

3. $\lambda' = (1+\frac{v'}{c})\lambda$

$$\lambda' = \lambda + \frac{v'}{c}\lambda$$

$$\lambda' - \lambda = \frac{v'}{c}\lambda$$

$$\frac{\Delta\lambda}{\lambda} = \frac{v'}{c}$$

$$\frac{1}{30} = \frac{v'}{3\times10^{8}}$$

$$v' = 10^{7}\,m.s^{-1}$$

ومن قانون هابل $v' = H_0.d$

$$10^{7} = \frac{68}{3}\times10^{-19}\,d$$

$$d = \frac{3}{68}\times10^{26}\,m$$

4. $c = \frac{d}{t}$

$$3\times10^{8} = \frac{\frac{3}{68}\times10^{26}}{t}$$

$$t = \frac{1}{68}\times10^{18}\,s$$

فيكونُ هذا الزّمنُ مُقاسَاً بالسّنوات:

$$t = \frac{\frac{1}{68}\times10^{18}}{60\times60\times24\times365.25} = 0.466\times10^{9}\ years$$

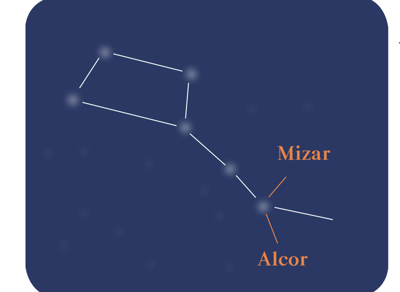
أي إنَّ تلكَ المَجرَّة تبعدُ عنّا 0.466×10^{9} Light years

وهذا يعني أيضاً أنَّ مانراهُ في تلكَ المَجرَّةِ اليومَ قد حدث منذُ 0.466 مليار سنةٍ.

أنواعُ النُّجوم:

يحوي نظامُنا الشَّمسيّ نجماً واحداً مُفرَداً هو الشَّمسُ، فهل جميعُ النُّجومِ في الكونِ مُفرَدةٌ؟

إنَّ التّلسكوباتِ أظهرَت لنا أنَّ الكثيرَ من النُّجومِ ثُنائيّةٍ Binary stars تدورُ حولَ بعضِها البعض. بعضُ النُّجومِ الثّنائيّة قد تُرى بالعينِ المُجرَّدة كالنَّجم الذي يُشكّل الانحناءَ في مِقبضِ الدّبِّ الأكبرِ إنّه في الواقعِ نجمان، أحدهما يُدعى الإزار (Mizar)، والأخف لمعاناً يُدعى السُّها(Alcor)، وهما قريبان على بعضِهما جدّاً بحيثُ تحتاجُ لبصرٍ حادٍّ جدّاً للتّفريقِ بينَهما (كانَ يستخدمُ ذلكَ في الماضي لفحصِ قوّة النَّظرِ)



نظريّةُ الانفجارِ الأعظم:

أفكِّرُ

تدلُّ ظاهرةُ الانزياح نحوَ الأحمرِ لطيوفِ المَجرّات أنّ كلَّ المَجرّاتِ تبتعدُ عن بعضِها، فالفضاءُ الكونيّ يتمدَّدُ كبالونٍ يُنفَخُ.

لو تخيَّلتَ المشهدَ بتراجع زمنيٍّ، كيفَ كانَ الكونُ في الماضي السَّحيقِ؟
هل لهذا الكونُ بدايةَ (لحظَة ولادة)؟



أستنتج

- **إنَّ من أكثرِ النَّظريّات قبولاً حولَ نشأةِ الكونِ نظريّةُ الانفجارِ الأعظمِ Big Bang، التي تقولُ إنَّ الكونَ نشأ قبلَ حوالي 13.8 مليار سنةٍ. في تلك اللّحظةِ، كانَ الكونُ عبارةً عن نقطةٍ مُنفردةٍ صغيرةٍ جدّاً، ذات كثافةٍ عاليةٍ جدّاً من المادَّة و الحرارة الّتي تفوقُ الخيالَ. ثمَّ حدثَ الانفجارُ العظيمُ. وبدأت المادّةُ تأخذُ أشكالَها، فتشكَّلَتْ في البدايةِ الجُسيماتُ الأوليّةُ، ثمّ الذّرّاتُ والجُزيئاتُ والغبارُ الكونيّ، فالنُّجومُ والمَجرَّاتُ، واستمرّ توسُّعُ الكونِ إلى يومِنا هذا.**

الأُسسُ الفيزيائيّةُ لنظريّةِ الانفجارِ الأعظمِ:

- الانزياحُ نحوَ الأحمرِ لِطَيفِ المجرَّات.
- وجودُ تشويشٍ ضعيفٍ لموجاتٍ راديويَّة قادمة بشكلٍ مُنتظَمٍ تماماً من جميعِ اتّجاهاتِ الكون، وبالشِدَّةِ نفسِها المُتوقَّعةِ في وقتِنا الحاضرِ لإشعاعِ الانفجارِ الأعظمِ.
- وجودُ كمّيّاتٍ هائلةٍ من الهيدروجين والهليوم في النُّجوم، فمثلاً تبيَّنَ أنَّ كمِّيَّةَ الهليومِ التي تحويها شمسُنا أكبرُ بثلاثةِ أضعافٍ من الكمّيَّة التي يُمكِنُ أن تتولَّدُ نتيجةَ اندماجِ الهيدروجين في قلبِ الشَّمس، وهذا يستدعي وجودَ مصدرٍ هائلٍ آخرَ درجةُ حرارتِه أعلى بكثيرٍ من درجةِ حرارةِ الشَّمسِ، إنَّها الدَّقائقُ الأولى من بَدْءِ الانفجارِ الأعظَمِ.

تطبيقٌ (3):

احسب عمرَ الكونِ التّقريبيّ اعتماداً على قانونِ هابل، باعتبارِ ثابتِ هابل تقريباً: $H_0 = \frac{68}{3} \times 10^{-19}\, s^{-1}$

الحلّ:

d هي بُعدُ مجرَّةٍ ما عنّا، وهي أيضاً المسافةُ التي قطعتْها المَجرَّة منذُ حدوثِ الانفجارِ الأعظمِ حيثُ كانَت مجرَّتُنا وجميعُ المَجرَّاتِ مُتكثِّفةً في النّقطةِ نفسِها، نسمّي الزّمنَ الذي مضى على حدوثِ الانفجارِ الأعظم t عمر الكون $v = \frac{d}{t}$

لكنَّ $v = H_0 . d$

$$\frac{d}{t} = H_0 . d$$

$$t = \frac{1}{H_0} = \frac{1}{\frac{68}{3} \times 10^{-19}} = \frac{3}{68} \times 10^{19}\, s$$

فيكونُ عمرُ الكون التّقريبي بالسّنوات: $t = \frac{\frac{3}{68} \times 10^{19}}{60 \times 60 \times 24 \times 365.25} \approx 14 \times 10^{9}\, years$

توزُّعُ المَجرّاتِ في الكونِ:

- المجرّةُ Galaxy هي نظامٌ كونيٌّ مُكوّنٌ مِن تجمُّعٍ هائلٍ مِن النُّجومِ و الغبارِ والغازاتِ التي ترتبطُ معاً بقوى تجاذُبٍ مُتبادَلة، وتدورُ حولَ مركزٍ مُشترَكٍ.
- يقدِّرُ العلماءُ أنَّ هناك حوالي 10^{10} إلى 10^{12} مجرَّة تقريباً في الكونِ المنظورِ، إنَّ أبعدَ مجرّاتٍ تمَّ تصويرُها تبعدُ حوالي 10 إلى 13 مليارِ سنةٍ ضوئيّةٍ، تتراوحُ في أحجامِها بينَ المَجرّاتِ القزمةِ التي لا يتعدَّى عددُ نجومِها 10^{7} نجمٍ وتكونُ مساحتُها حوالي بضعة آلافِ سنةٍ ضوئيَّة، و المجرَّاتِ العملاقةِ التي تحتوي على أكثرِ من 10^{12} نجمةٍ وحجمُها يصلُ إلى نصفِ مليونِ سنةٍ ضوئيَّة.

مَجرتُنا:

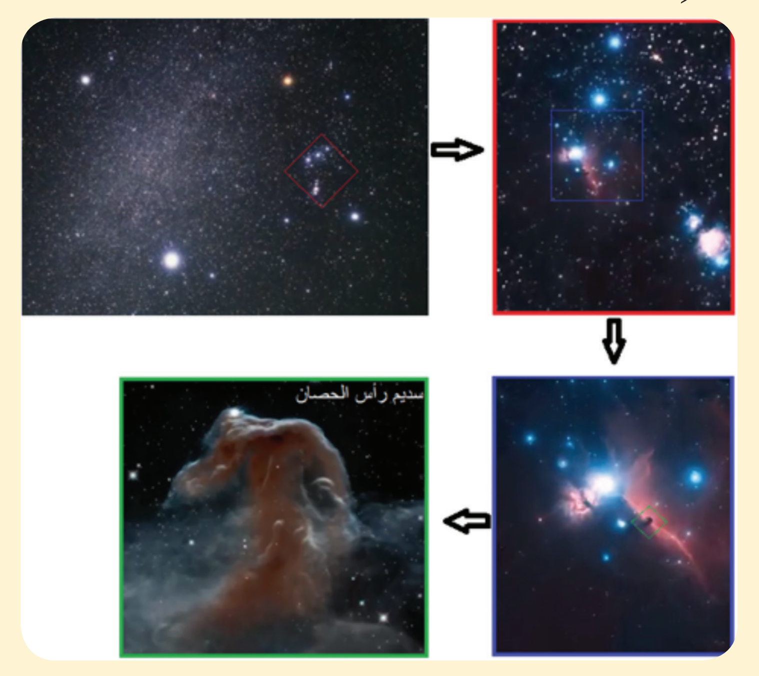
- تسمَّى مجرتُنا دربَ التبّانة، ويوجدُ فيها أكثرُ من 2×10^{11} نجمٍ، ويقدِّرُ العلماءُ قطرَها بحوالي 100 ألفِ سنةٍ ضوئيَّة، وتحوي الكثيرَ من التجمُّعاتِ النَّجميّة، بما فيها المجموعةُ الشَّمسيّة، والتي ينتمي إليها كوكبُنا كوكبُ الأرض.

إثراء:

- تكريماً للعالم هابل سُمِّيَ التلسكوب الفضائي العملاق باسمه، هذا التلسكوب الّذي يدورُ خارجَ الغلافِ الجويّ، والّذي أعطى صوراً مُذهِلةً للكون، وساهمَ في إثباتِ نظريةِ هابل نفسِه.



- من الصُّورِ المُذهِلةِ التي أعطاها تلسكوبُ هابل صورةَ سديمِ رأسِ الحصانِ الذي يظهرُ بالتّلسكوب في مجموعةِ نطاقِ الجبار، تلك النُّجوم الثّلاث التي تظهرُ لكَ بالعينِ المُجرَّدةِ على استقامةٍ واحدةٍ.



الثقوبُ السَّوداء :

أفكِّرُ

- أعلمُ أنّه بزيادةِ كتلةِ الجسمِ تزدادُ قوّةَ جذبِه، كما تزدادُ أيضاً بنقصانِ البُعدِ عن الجسمِ.
- ما قانونُ نيوتُن العالميّ الذي يصفُ ذلك؟
- كيف يُمكِنُ أن تكونَ قوّةُ الجذبِ تلكَ لا نهائيَّة؟
- ما سرعةُ الإفلاتِ من تلكَ الجاذبيَّة وفقَ قوانين نيوتُن؟

أتذكَّرُ

- قوّةُ التّجاذبِ الكُتليّ بينَ جسمين تتناسبُ طرداً مع كتلتَيهما، وعكساً معَ مربّعِ البُعدِ بينَهما، فتُصبحُ القوة لانهائيَّة عندَما يتناهى البُعدُ بينَ الكُتلتَين إلى الصّفر (وفقَ قوانين نيوتن).
- أفترضُ أنّي على سطح الأرض، وأريدُ إلقاءَ جسمٍ للأعلى حتَى يفلتَ من جذبِ الأرض وينطلِقَ في الفضاء، فيجبُ إعطاؤه طاقةً حركيّةً أكبرَ من طاقةِ الجذبِ الكامِنة له:

$$E_k = E_p$$
$$\frac{1}{2}mv^2 = F_c r$$
$$\frac{1}{2}mv^2 = G\frac{mM}{r^2}r$$
$$v = \sqrt{\frac{2GM}{r}}$$

حيثُ: v: سرعةُ الإفلاتِ من الأرضِ (السّرعة الكونيّة الثّانية).
G: ثابِتُ التّجاذُبِ العالميّ.
M: كتلةُ الأرضِ (الجسم الجاذِب).
r: نصفُ قطرِ الأرض.

- السّرعةُ الكونيّة الأولى هي السّرعةُ المداريّةُ التي تجعلُ الجسمَ يدورُ ضمنَ مدارٍ حولَ الجسمِ الجاذب.

تطبيقٌ (4):

احسبِ السّرعةَ الكونيّةَ الثّانيةَ للأرضِ، علماً أنَّ نصفَ قطرِ الأرضِ يُعتبَرُ $6400\,km$، و تسارُعَ الجاذبيّةِ الأرضيّةِ على سطح الأرضِ يُعتبَرُ $g = 10\,m.s^{-2}$

الحلُّ: أعلمُ أنَّ قوّةَ جذبِ الأرضِ للجسم تُعتبَرُ ثقلَه

$$F_c = W$$
$$G\frac{m.M}{r^2} = m.g$$
$$g = G\frac{M}{r^2}$$
$$r.g = G\frac{M}{r}$$

- فتكونُ سرعةُ الإفلاتِ (السّرعة الكونيّة الثّانية):

$$v = \sqrt{\frac{2GM}{r}}$$
$$v = \sqrt{2gr}$$
$$v = \sqrt{2\times 10\times 6400\times 1000}$$
$$v = 8\sqrt{2}\times 10^6\,m.s^{-1}$$

أتساءلُ

- ماذا لو صغُرَ نصفُ قطرِ الأرضِ (الجسم الجاذِب)؟
- ماذا سيحدثُ لسرعةِ الجسمِ المجذوبِ ليتمكَّنَ من الإفلات؟
- لكن هناكَ حدوداً لسرعةِ الجسمِ، ماهيَ؟
- ما نصفُ قطرِ الجسمِ الجاذِبِ عندَئِذٍ؟



أستنتج

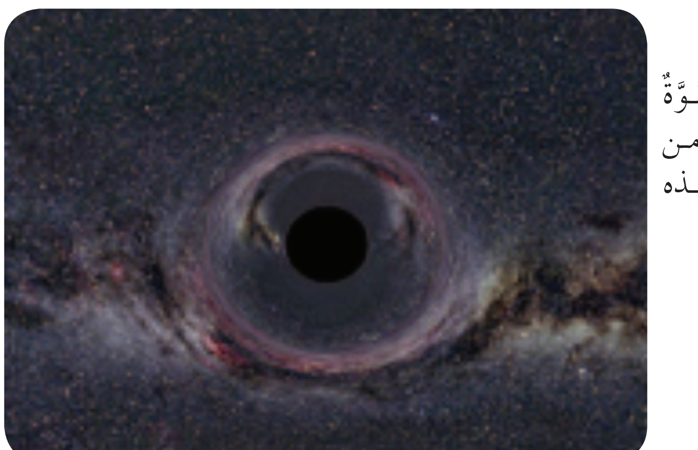
- **كلَّما نقُصَ نصفُ قطرِ الجسمِ الجاذِبِ وزادَت كثافتُه، ازدادَت سرعةُ الإفلاتِ اللّازِمة للتَّحرُّرِ من سطحِه.**
- **وبما أنّه لا يُمكِنُ لأيِّ جسمٍ أن تتجاوزَ سرعتُه سرعةَ الضَّوءِ في الخلاءِ، فيكفي أن يكونَ نصفُ قطرِ الجسمِ الجاذِبِ يُعطَى بالعلاقة:**

$$c = \sqrt{\frac{2GM}{r}}$$

$$r = \frac{2GM}{c^2}$$

- **كيلا يُمكِنُ لأيِّ جسمٍ الإفلاتَ منه، حتَّى الضَّوء، فيُسمَّى الثّقب الأسود.**

- ويُسمَّى نصفُ القطرِ الّذي يحقِّقُ العلاقةَ السَّابقة: نصف قطرِ شفارتزشيلد.
- وتُسمَّى الحدودُ التي لا يُمكِنُ بعدَها الإفلاتُ من الجاذبيّة: أفق الحدث.
- الثّقبُ الأسودُ: حيّزٌ كثافتُه هائلةٌ بحيثُ لا يُمكِنُ لشيءٍ الإفلاتُ مِن جاذبيّته حتّى الضَّوء. وله قوّةٌ جاذبيّةٌ جبّارةٌ يستحيلُ على أيِّ شيءٍ الإفلاتُ من جاذبيّته بما في ذلك أشعّة الضَّوء. لذا تبدو هذه المنطِقة غيرَ مرئيَّةٍ في الفضاء.



أفكِّرُ

- كيفَ يُمكِنُ للثّقبِ الأسودِ أن يجذبَ الضَّوءَ؟ هل للضَّوءِ كتلة؟

أتذكّرُ

- تكافؤُ الطّاقةِ – كتلةٌ في النّسبيّة الخاصّة، ليسَ للضَّوء كتلةٌ سكونيّة لكنَّ له طاقةٌ تكافئُ كتلةً تُعطَى بالعلاقةِ:

$$E = m.c^2$$

رصدُ الثّقوب السَّوداءِ:

- كيفَ يُمكِنُ رصدُ الثّقوب السَّوداء على الرَّغمِ من أنّه لا يُمكِنُ رؤيتُها فهي تبتلعُ الضَّوء؟

1. سلوكُ الأجسامِ المُجاورة للثّقوب السَّوداء: إذا توقّعْتَ وجودَ شخصٍ في غرفةٍ مُظلِمةٍ تماماً ولا تمتلكُ أيَّ أداةٍ للرُّؤيا اللَّيليّة فكيفَ يُمكِنُ أن تتأكّدَ من وجودِه وتُحدِّدَ مكانَه؟ إنَّ سلوكَ الأشياءِ المُحيطة يُمكِنُ أن تدلَّكَ كحركةِ البابِ وصوتِه أو حركةِ السَّتائر أو أيِّ حركةٍ غيرِ اعتياديَّةٍ في الغرفة.

- هذا ما اعتمدَه العلماءُ في رصدِ الثّقوب السَّوداء من خلالِ دراسةِ الحركاتِ غيرِ المُتوقَّعة للنّجوم أو الغبار أو الغازاتِ المُحيطة بالأماكنِ غيرِ المرئيّة.

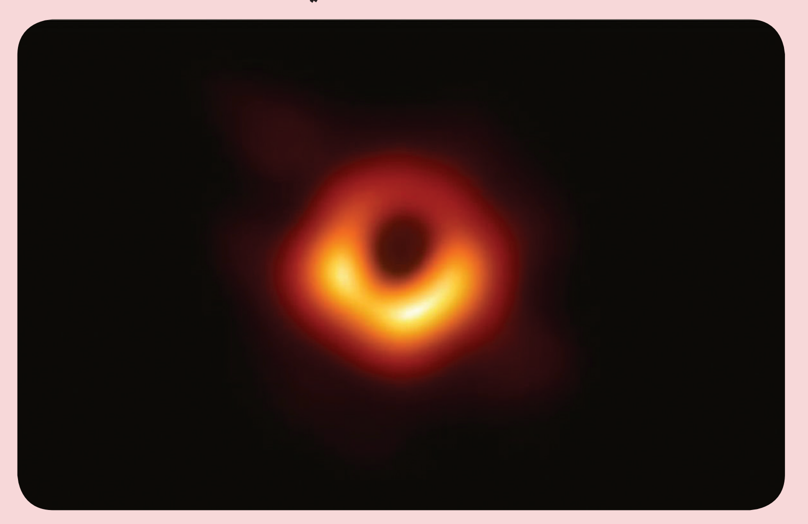
2. الانبعاثُ الإشعاعيُّ: تدورُ النُّجومُ المُجاورة والأجسامُ الأخرى حولَ الثّقبِ الأسود، وترتفعُ درجةُ حرارةِ هذه الأجسام لملايين الدّرجات المئويّة، وتستمرُّ الزّيادة في درجةِ الحرارة، وتزدادُ سرعةُ دورانها، وتنبعثُ منها أشعّة سينية. ويُمكِنُ رصد هذه الأشعّة بوساطةِ مراصد الأشعّة السّينيّة.

3. تأثيرُ عدسةِ الجاذبيّة: وفقَ النّظريّة النّسبيّة العامّة تُحدِثُ الجاذبيّة انحناءً في الفضاء، فضوءُ النُّجوم أو المجرّات الذي يمرُّ بجوارِ ثقبٍ أسودَ ينحني فتبدو تلكَ النُّجومُ أو المجرَّات في غيرِ أماكنِها بالنّسبة للتّلسكوبات الأرضيّة، تُعرَفُ هذه الظّاهرة باسمِ عدسةِ الجاذبيّة gravitational lensing.

إضاءة



- **تمّ الإعلان رسمياً عن أول صورة حقيقية للثقب الأسود في 10 نيسان 2019**



تعلَّمتُ

- مصدرُ الطّاقة الّذي تعطيه النُّجومُ ناتجٌ عن تفاعُلاتٍ اندماجيّة تعطي طاقةً وفقَ علاقةِ آينشتاين $\Delta E = \Delta mc^2$
- يُمكِنُ تحديد عدّة خصائص للنّجوم من خلال دراسةِ طيوفِها.
- يزدادُ الطّول المَوجيّ بابتعادِ المنبعِ المَوجيّ عن المُراقِب $\lambda' = (1 + \frac{v'}{v})\,\lambda$.
- تبتعدُ المجرّات عن بعضِها، وكلّما كانَت المجرّة أبعد كانَت سرعةُ ابتعادِها أكبر $v = H_0 . d$
- وفقَ نظريّةِ الانفجار الأعظم، نشأَ الكونُ من نقطةٍ ذاتِ كثافةٍ عاليةٍ إلى أبعدِ الحدود.
- الثّقب الأسود هو حيّزٌ ذو كثافةٍ هائلةٍ لا يُمكِنُ لشيءٍ الهروبُ من جاذبيتِه عندَ أفقِ الحدثِ الخاصّ به حتّى الضّوء ويُعطَى نصف قطره بالعلاقة: $r = \frac{2GM}{c^2}$




أختبر نفسي

أولاً: اخترِ الإجابةَ الصّحيحة:

1. خلالَ فترة حياة نجمٍ تتغيّر نسبةُ الهيدروجين فيه، فعندَ ولادته كانَت 70% ، ثمَّ انتهَت حياتُه بحدثٍ فلكيّ يعرَفُ بالمُستعر الأعظم (Supernova) حيثُ كانَت نسبةُ الهيدروجين فيه:

   a. 70%. b. أكثر من 70%. c. أقلّ من 70%. d. قد تكون أكثر أو أقل من 70%.

2. في عام 2015 نجحَت الجمعيَة الفلكيَة السّورية في إطلاقِ اسم تدمر (Palmyra) على الكوكب الذي يدورُ حولَ نجم الرّاعي. إذا علِمتَ أنَّ كوكبَ تدمرَ يبتعدُ عن نجم الرّاعي مسافةً تُعادل تقريباً 2 وحدة فلكيّة؛ أي ضعف المسافة بينَ الأرض والشّمس، وأنّ السّرعة الخطيّة المداريّة لكوكبِ تدمر ثُلثَا السّرعة الخطيّة المداريّة للأرض، فالسّنةُ على كوكب تدمرَ تُساوي:

   a. 4 سنة أرضيّة. b. 2 سنة أرضيّة. c. 3 سنة أرضيّة. d. سنة أرضية واحدة.

3. إذا علمتَ أنّ مجرّةَ المرأة المُتسلسِلة (Andromeda) الأقربُ إلى مجرَّتنا دربِ التّبانة تقتربُ من مَجرَّتنا مُخالِفةً بذلكَ أغلبَ المَجرّات الأخرى، فالطّيفُ الآتي من مجرّة المرأةِ المُتسلسِلة هو بالنّسبة لنا:

   a. ينزاحُ نحوَ الأحمرِ. b. ينزاحُ نحوَ الأزرق. c. لا يتغيّرُ. d. يزدادُ طولُ مَوجَته.

4. إنَّ ثابت هابل هو:

   a. مُعدَلُ تغيُّر سرعة تمدُّد الكونِ مع الزّمن.
   b. مُعدَّل تغيُّر سرعة تمدُّد الكونِ مع المسافة.
   c. مُعدَلُ تغيُّر المسافة بينَ المجرّات معَ الزّمن.
   d. مُعدَّل تغيُّر تسارُع تمدُّد الكون معَ المسافة.

5. تبتعدُ مجرَّةُ a عنّا عشرةَ أمثال بُعد مجرَّة b، فنسبةُ سرعةِ المجرّة b إلى سرعةِ المجرّة a:

a. 10.　　b. 1.　　c. 0.1.　　d. 0.01.

6. الثّقوبُ السَّوداء هي بالضّرورة:

a. ذاتُ كتلةٍ هائلة.　　b. ذاتُ كثافةٍ هائلة.　　c. ذاتُ حجمٍ هائل.　　d. ذاتُ نصفِ قطرٍ هائل.

ثانياً: أجِب عن الأسئلةِ التّالية:

1. يُمكِنُ أن تُرسلَ رحلاتٍ علميّة غير مأهولة لتحطَّ على سطحِ أحدِ أقمارِ المُشتري، لكن لا يُمكِنُ لها أن تحطَّ على المُشتري نفسِه، لماذا برأيك؟
2. عندَما يكونُ المنبعُ المَوجيّ ساكِناً بالنّسبة للمُراقِب فإنَّ $\lambda = \frac{v}{f}$، وعندَما يقتربُ المنبعُ المَوجيّ من المُراقِب بسرعة v' تشغلُ المَوجة المسافة λ'، أوجِد العلاقة بينَ λ' و λ، و لماذا تُسمَّى هذه الظّاهرة في الطّيف المرئيّ: الانزياح نحوَ الأزرق؟
3. اذا علمتَ أنَّ السّرعةَ الكونيَة الأولى هي السّرعة المداريّة (مماسيّة للمسار الدّائريّ حولَ الأرض) التي تجعلُ قوّةَ العطالة النّابذة للجسم تساوي قوّةَ جذبِ الأرض له، وأنَّ السُّرعة الكونيّة الثانية هي السُّرعة التي تجعلُ الطّاقةَ الحركيّة للجسم المُبتعِد عن الأرضِ تساوي طاقةَ الجذبِ الكامِنة، فاستنتجِ العلاقةَ بينَ السُّرعة الكونيّة الثانية والسُّرعة الكونيّة الأولى.

ثالثاً: حُلَّ المسائل التّالية:

المسألة الأولى:

أفترضُ أنَّ الأرضَ انكمشَت حتّى أصبحَت ثقباً أسودَ، كم يجبُ أن يكونَ نصفُ قطرِها؟
علماً أنَّ نصفَ قطرِ الأرضِ الحالي يُساوي $6400\,km$، و تسارع الجاذبيّة الأرضيّة عندَ سطحِها الحالي $g = 10\,m.s^{-2}$. هل ستبتلعُ الأرضُ عندَئذٍ القمرَ اذا تجمَّعَت كتلةُ الأرض حولَ مركزِها؟ لماذا برأيك؟
(واقعيّاً الأجرامُ التي تنتهي حياتُها إلى ثقبٍ أسودَ هي النُّجوم التي تبلغُ كتلتُها أكثرَ من عشرةِ أضعافِ كتلةِ شمسِنا)

المسألة الثّانية:

احسبْ نسبةَ انزياح الطّول المَوجيّ إلى الطّول الأصليّ لمجرّة تبعدُ عنّا 932×10^{6} سنةً ضوئيّة، إذا كانَ طولُ المَوجة الأصليّ $500\,nm$، فاحسب طولَ المَوجة بعدَ الانزياح، علماً أنّ ثابت هابل $H_0 = 68\,km.s^{-1}/Mpc$، والفرسخ الفلكي $pc = 3.26\,light\ year$، وسرعة الضّوء في الخلاء $c = 3 \times 10^{8}\,m.s^{-1}$.

المسألة الثّالثة:

يبعدُ المريخُ عن الشّمسِ وسطيّاً $1.52\,AU$، وتصلُ سطحَه تقريباً 100% من أشعّة الشّمس المتجهة إليه، فإذا علمتَ أنّ النّقصَ في كتلةِ الشّمس $4.22 \times 10^{11}\,kg.s^{-1}$، فاحسب الطّاقة التي يتلقّاها $1\,(km)^{2}$ من سطحِ المريخ خلالَ دقيقةٍ واحدة.
(الوحدةُ الفلكيّة AU هي المسافةُ بينَ الأرض والشّمسِ وسطيّاً وتُعتبَرُ 150 مليون كيلومتر)

تفكير ناقد

إذا راقبتُ القبّة السّماويّة في ليلةٍ واحدةٍ لعدّةِ ساعاتٍ أجدُ أنّ جميعَ الأجرامِ المُنيرة قد غيرَّت مكانَها وتحرَّكَت في مسارٍ دائريّ، إلّا نجمَ القطبِ يبدو ثابِتاً، ما تفسيرُ ذلك؟





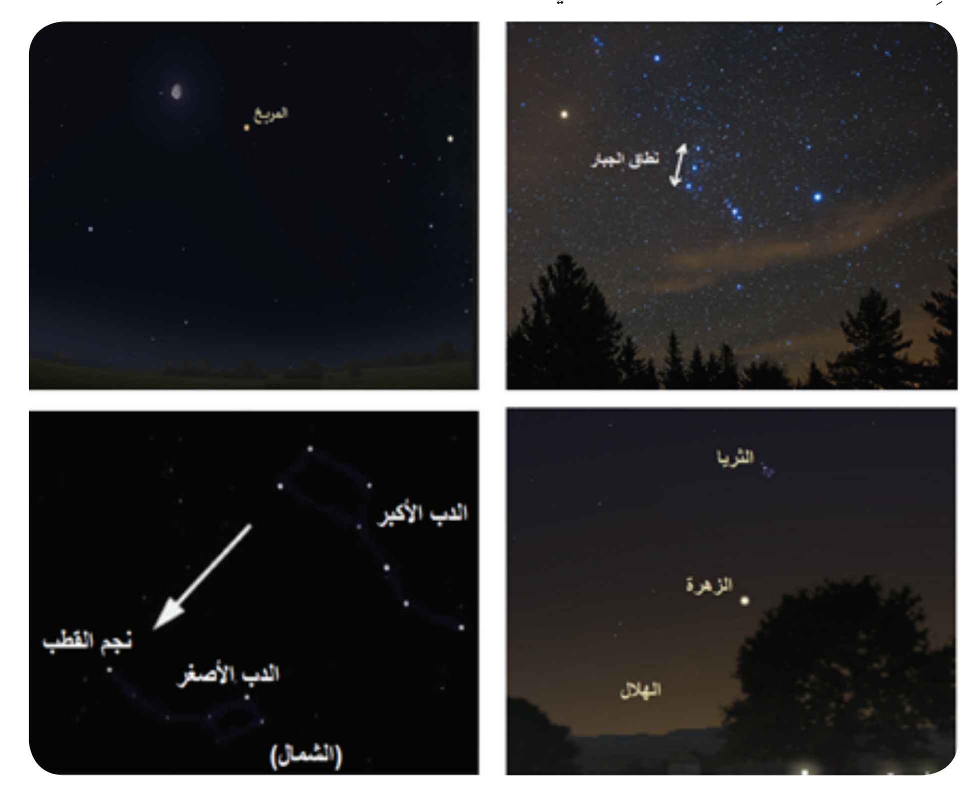
أبحث أكثر

ما مصيرُ الثّقوب السّوداء؟
تحدّثَ العالمُ ستيفن هوكنغ عن تبخُّرِ الثّقبِ الأسودِ بفعلِ إشعاعِ هوكنغ، ابحث في ذلك.

مشروع: دراسةُ المساراتِ الظّاهريّة لبعضِ الكواكبِ والتَّشكيلاتِ النَّجميّة

أهدافُ المشروع:

التعرُّف على بعضِ الكواكبِ والتَّشكيلاتِ النَّجميّة في القبّة السّماويّة ودراسة مساراتِها الظّاهرية.



مراحل المشروع:

أولاً: التخطيط:

1. البحثُ عن كيفيّة الاستدلالِ على بعضِ الأجرام المُنيرة في القبّة السّماوية.
2. زيارةُ أحدِ فروع الجمعيّة الفلكيّة السّوريّة والتّعرُّف، بمُساعَدة المُختصّين، على بعضِ الكواكبِ كالمريخِ والزّهرة، وعلى بعضِ التّشكيلات النّجميّة كالثّريّا والدّبّ الأكبر ونطاق الجبار، وذلك من خلالِ التّلسكوب والعين المُجرَّدة.

ثانياً: التنفيذ:

1. تقسيمُ الطّلاب إلى خمسِ مجموعاتٍ تراقبُ كلٌّ منها أحدَ الكواكبِ أو التّشكيلات النّجميّة.
2. ترسمُ كلُّ مجموعةٍ خريطةً للسّماء تحدّدُ فيها الكوكبَ أو التّشكيلَ المدروسَ بعدَ اعتمادِ نقاطٍ أرضيّة ثابتة مُشتركة.
3. نكرّرُ الإجراءَ السّابق مرّةً كلّ أسبوع في التوقيت نفسه، لمدّة شهر.
4. نقارنُ بينَ الخرائط المرسومة من قبل كلّ مجموعةٍ ونكتبُ توصيفاً لمسارِ الكوكب أو التّشكيل المدروس.
5. نضعُ الخرائطَ المرسومةَ مع النّتائج في لوحةِ حائطٍ خاصّة.

ثالثاً: التقويم:

نناقشُ النّتائج معَ المُدرِّس المُشرِف.

مشروع: طبيعةِ الأشعة الكونيَّة

توجدُ أشعّةٌ صادرةٌ من أعماقِ الفضاءِ الخارجيّ تُسمَّى الأشعّةُ الكونيّة الأوليّة

أهدافُ المشروع:

التَّعرُّف على الأشعّةِ الكونيّة الأوليّة والثّانويّة.

مراحل المشروع:

أولاً: التخطيط:

1. ممَّ تتكوَّنُ الأشعّةُ الكونيَّةُ الأوليّة، وما مصادرُها؟.
2. ممَّ تتكوَّنُ الأشعّةُ الكونيَّةُ الثَّانويّة، ما مصادرُها؟
3. ما خواصُّ الأشعّةِ الكونيّة؟
4. ما المادَّةُ المُضادّة في الأشعّةِ الكونيّة؟

ثانياً: التنفيذ:

توزِّعُ الطَّلابَ إلى مجموعاتٍ وتحدِّدُ مَهمَّة كلِّ مجموعةٍ:

- المجموعةُ الأولى: تبحثُ في الأشعّةِ الكونية الأوليّة، وما مصادرُها.
- المجموعةُ الثّانية: تبحثُ في الأشعّةِ الكونيّة الثّانويّة، وكيفَ تشكَّلَت.
- المجموعةُ الثّالثة: تبحثُ في خواصِّ الأشعّةِ الكونيّة.
- المجموعةُ الرّابعة: تبحثُ في المادَّةِ المُضادّة.

ثالثاً: تبادُل المعلومات:

تبادُل المعلوماتِ بينَ المجموعاتِ للوصولِ إلى نتائجِ البحثِ، ثمَّ تسليم نسخةٍ ورقيّةٍ أو نسخةٍ إلكترونيّةٍ لمكتبةِ المدرسة.

رابعاً: التَّقويم:

مُناقَشةُ النّتائِجِ وإعدادُ تقريرٍ كاملٍ خلالَ مدَّةِ عشرةِ أيّام.

مسائل عامة

المسألة (1):

نشكّلُ هـزّازةً توافقيّـةً بسـيطةً مؤلّفـةً مـن نابـضٍ مـرنٍ شـاقوليٍّ مهمـلِ الكتلـة، حلقاتُـهُ متباعـدةٌ، ثابـتُ صلابتـه $k = 10\,\text{N.m}^{-1}$ مثبَّـتٍ مـن إحدى نهايتيه إلى نقطةٍ ثابتةٍ، ويحمـلُ في نهايته الثانية جسماً كتلتُه $m = 0.1\,\text{kg}$ فـإذا علمـتَ أنّ مبدأ الزمـن لحظـةَ مـرور الجسـم في مركـز التوازن، وهـو يتحرّك بالاتّجاه السـالب بسـرعة $v = -3\,\text{m.s}^{-1}$.

المطلوب:

1. احسبْ نبضَ الحركة.
2. استنتج التابعَ الزمنيَّ لمطال الحركة.
3. احسبْ شدّة قوّة الإرجاع في نقطة مطالها $3\,\text{cm}$.

المسألة (2):

تهتـزُّ نقطـة ماديَّـة كتلتهـا $0.5\,\text{kg}$ بحركـة توافقيَّـة بسـيطة بمرونـة نابـض مهمـل الكتلـة، حلقاتـه متباعـدة، شـاقوليّ وبـدور $4\,\text{s}$ وبسـعة اهتـزاز $X_{\max} = 8\,\text{cm}$ فـإذا علمـت أنَّ النقطـة كانـت في موضـع مطالـه $\frac{X_{\max}}{2}$ فـي بـدء الزمـن وهـي متحرِّكـة بالاتِّجـاه السـالب.

المطلوب:

1. استنتج التابع الزمنيّ لمطال حركة هذه النقطة بعد تعيين قيمة الثوابت.
2. عيّن لحظتي المرور الأوّل والثالث في وضع التوازن.
3. عيّـن المواضـع التي تكـون فيهـا شـدَّة محصِّلـة القوى عظمى، واحسـب قيمتهـا، وحـدّد موضعـاً تنعدم فيـه شـدَّة هـذه المحصِّلـة.
4. احسب قيمة ثابت صلابة النابض، وهل تتغيَّر هذه القيمة باستبدال الكتلة المعلَّقة؟
5. احسب الكتلة التي تجعل الدَّور الخاصّ $1\,\text{s}$.

المسألة (3):

تتألّـفُ ميقاتيّـةٌ مـن قـرص نحاسـيٍّ كتلتُه $M_1 = 0.12\,\text{kg}$ ، نصـفُ قطـره $R = 0.05\,\text{m}$ مثبّـتٌ عليـه سـاقٌ كتلتُهـا $M_2 = 0.012\,\text{kg}$ ، طولُهـا $L = 0.1\,\text{m}$ تحمـلُ فـي طرفيهـا كتلتيـن نعدّهمـا نقطيّتيـن $m_1 = m_2 = 0.05\,\text{kg}$ ، كتلتـان تبعـدان عـن بعضهمـا البعـض مسـافةً قدرُهـا $2r = 0.04\,\text{m}$ يمكـن تغييرُهـا بوسـاطة بـزّال، نعلّـق جملـة القـرص ومـا عليـه مـن مركـز عطالتهـا إلـى سـلكِ فتـلٍ شـاقوليٍّ ثابـتُ فتلـه $k = 8 \times 10^{-4}\,\text{m.N.rad}^{-1}$ كمـاً فـي الشـكل المجـاور.

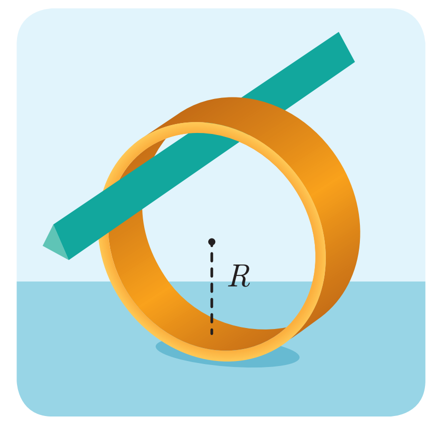


المطلوب:

1. احسبْ دورَ الميقاتيّة.
2. إذا أردنـا للـدَّور أنْ يـزدادَ بمقـدار $0.86\,\text{s}$ وذلـك بزيـادة البعـد بيـن الكتلتيـن، فمـا البعـدُ الجديـدُ الـذي يجـبُ أنْ يصبـحَ بينهمـا؟

(عـزم عطالـة القـرص حـول محـور مـارٍّ مـن مركـز عطالتـه $I_1 = \frac{1}{2}M_1R^2$ ، وعـزم عطالـة السّـاق حـول محـور عمـوديّ علـى مسـتويها ومـارّ مـن مركزهـا $I_2 = \frac{1}{2}M_2L^2$ ، $\pi = 3.14$ ، $\pi^2 \simeq 10$)

المسألةُ (4):



نعلّقُ حلقةً معدِنيّةً نصفُ قطرها $R = 12.5\,\text{cm}$، كتلتُها $M = 0.05\,\text{kg}$، بمحورٍ أفقيّ ثابت، كما هو موضّحٌ بالشكل.

المطلوب:

1. احسبِ الدورَ الخاصّ لاهتزاز هذا النوّاس من أجل السّعات الزاوية الصغيرة إذا علمت أنّ عزم عطالة الحلقة حول محور عموديّ على مستويها، ومارّ من مركز عطالتها $I_{\Delta/c} = M\,R^2$.
2. احسبْ طول النوّاس البسيط المواقت.

المسألة (5):

يتألّف نوّاس ثقليٌّ من ساق شاقوليّة مهملة الكتلة طولها $1\,\text{m}$ تحمل في نهايتها العلويّة كتلة نقطيَّة $m_1 = 0.2\,\text{kg}$ وتحمل في نهايتها السفليَّة كتلة نقطيَّة $m_2 = 0.6\,\text{kg}$ تهتزُّ هذه السّاق حول محور أفقيّ مارّ من منتصفها

المطلوب:

1. احسب دور النوّاس في حالة السّعات الصَّغيرة.
2. احسب طول النوّاس البسيط المواقت لهذا النوّاس.
3. احسب دور النوّاس لو ناس بسعة زاوية $\theta_{\max} = 0.4\,\text{rad}$.
4. نزيح الساق عن وضع توازنها الشاقوليّ بزاوية $\theta_{\max} = 60^\circ$ ونتركها دون سرعة ابتدائيَّة.
   - **a.** استنتج بالرموز علاقة السّرعة الزاوية لجملة النوّاس لحظة مرورها بشاقول محور التعليق، ثمَّ احسب قيمتها عندئذٍ.
   - **b.** احسب السُّرعة الخطِّيّة لمركز عطالة جملة النوّاس لحظة المرور بالشّاقول.
5. نستبدل بالكتلة m_2 كتلة $m_1 = 0.2\,\text{kg}$ ونعلّق السّاق من منتصفها بسلك فتل شاقوليّ لنشكّل بذلك نوّاساً للفتل، نزيح السّاق الأفقيَّة عن وضع توازنها بزاوية ونتركها دون سرعة ابتدائيّة فتهتزُّ بدور $T_0 = 2\pi\,\text{s}$.
   احسب قيمة ثابت فتل سلك التعليق.
6. احسب قيمة التَّسارع الزاوي لنوَّاس الفتل عند المرور بوضع $\theta = 0.5\,\text{rad}$.

المسألة (6):

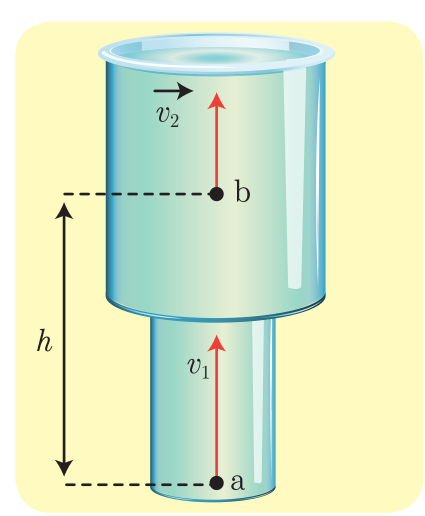
يتألّف نوّاس ثقليّ مركّب من قرص متجانس كتلته m نصف قطره $r = \frac{2}{3}\text{m}$ يمكن أن يهتزَّ في مستوٍ شاقوليٍّ حول محور أفقيٍّ مارٍّ من نقطة على محيطه.

المطلوب:

1. انطلاقاً من العلاقة العامّة لدور النوّاس الثقليّ المركّب، استنتج العلاقة المحدّدة لدوره الخاصّ في حالة السّعات الصّغيرة، ثمَّ احسب قيمة هذا الدّور.
2. احسب طول النوّاس البسيط المواقت لهذا النوّاس المركّب.
3. نثبّت في نقطة من محيط القرص كتلة نقطيَّة m' تساوي كتلة القرص m ونجعله يهتزُّ حول محور أفقيٍّ مارٍّ من مركز القرص، احسب دوره في هذه الحالة من أجل السّعات الزاوية الصّغيرة.

4. نزيح القرص من جديد عن وضع توازنه الشاقوليّ بسعة زاوية θ_{max} ونتركه دون سرعة ابتدائيَّة فتكون السرعة الخطِّيَّة للكتلة النقطيَّة m' لحظة المرور بالشاقول $\frac{2\pi}{3} m.s^{-1}$ احسب قيمة السعة الزاوية θ_{max} (إذا علمت أنَّ: $\theta_{max} > 0.24\, rad$ ، $g = 10 m.s^{-1}$ ، $\pi^2 = 10$ عزم عطالة القرص حول محور مارّ من مركزه وعموديّ على مستويه $I_{\Delta/c} = \frac{1}{2} m\, r^2$)

المسألة (7):



يجري الماء داخل الأنابيب الموضَّحة في الشكل من (a) إلى (b) حيث نصف قطر الأنبوب عند (a) $r_1 = 5\, cm$ و نصف قطر الأنبوب عند النقطة (b) $r_2 = 10\, cm$ والمسافة الشاقوليَّة بين (a) و (b) $h = 50\, cm$:

1. احسب سرعة جريان الماء عند النقطة (b) علماً أنَّ سرعة جريان الماء عند النقطة (a) $v_1 = 4\, m.s^{-1}$.
2. احسب قيمة فرق الضَّغط (P_{a-b}) $(\rho_{H2O} = 1000\, kg.m^3)$.

المسألة (8):

تخيّل أنّ مركبة فضاء لها شكل مستطيل تقوم برحلة إلى نجم "الشعرى" وفق مسار مستقيم، بحيث يكون شعاع سرعة المركبة دوماً موازياً لطول المركبة، فتسجّل أجهزة المركبة المسافرة القياسات الآتية:

طول المركبة: $100\, m$ ، عرض المركبة: $25\, m$ ، المسافة المقطوعة: 4 سنة ضوئيَّة، زمن الرحلة: $\frac{8}{\sqrt{3}}$ سنة، وتسجّل أجهزة المحطَّة الأرضيَّة قياساتها لتلك الرحلة باستخدام تيلسكوب دقيق،

احسب كلّاً من سرعة المركبة وطولها وعرضها في أثناء الرحلة، والمسافة التي قطعتها وزمن الرحلة وفق قياسات المحطَّة الأرضيَّة.

(سرعة الضّوء في الخلاء $c = 3 \times 10^8\, m.s^{-1}$)

المسألة (9):

إذا علمت أنّ الكتلة السكونيّة للبروتون $1.67 \times 10^{-27}\, kg$ ، وفي أحد التجارب كانت طاقته الكلِّيَّة تساوي ثلاثة أضعاف طاقته السكونيّة.

المطلوب:

1. احسب الطَّاقة السكونيَّة للبروتون مقاسة بالإلكترون فواط.
2. احسب سرعة البروتون في هذه التجربة.
3. احسب الطَّاقة الحركيَّة لهذا البروتون.
4. احسب كمّيَّة الحركة له.
5. باعتبار كمّيَّة الحركة P والطَّاقة السُّكونيَّة E_0 والطَّاقة الكُلِّيَّة E استنتج أنّ: $E^2 = P^2C^2 + E_0^2$ ، ثمّ تأكّد من ذلك حسابياً بالنسبة للبروتون المدروس في هذه التجربة.
(سرعة الضّوء في الخلاء $c = 3 \times 10^8\, m.s^{-1}$)

المسألة (10):

وشيعة طولها $40\,cm$، مؤلّفة من 400 لفّة، محورها الأفقيّ يعامد خطّ الزوال المغناطيسيّ، نضع في مركزها إبرة بوصلة صغيرة، ثمّ نمرّر في الوشيعة تيّاراً كهربائيّاً متواصلاً شدّته $16\,mA$.

المطلوب:

1. احسب شدّة الحقل المغناطيسيّ المتولّد في مركز الوشيعة.
2. إذا أجرينا اللفّ بالجهة نفسها على أسطوانةٍ فارغةٍ من مادّة عازلةٍ باستخدام سلك معزول قطره $2\,mm$ بلفّات متلاصقة، احسب عدد طبقات الوشيعة.
3. نضع داخل الوشيعة في مركزها حلقةً دائريّةً مساحتها $2cm^2$ بحيث يصنع النّاظم على سطح الحلقة مع محور الوشيعة زاوية 60°.
   احسب التدفقَ المغناطيسيّ عبر الحلقة الناتج عن تيار الوشيعة.

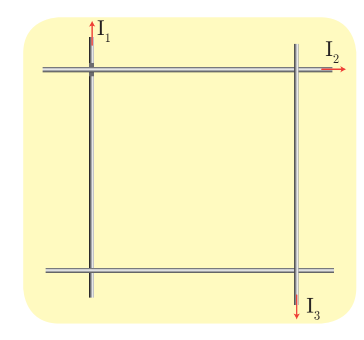
المسألة (11):

ملفّ دائريّ نصف قطره الوسطيّ $40\,cm$ يتألّف من 100 لفّة، وُضِع في حقل مغناطيسيّ منتظم شدّته $0.5\,T$ حيث خطوط الحقل عموديّة على مستوي الملفّ.

المطلوب:

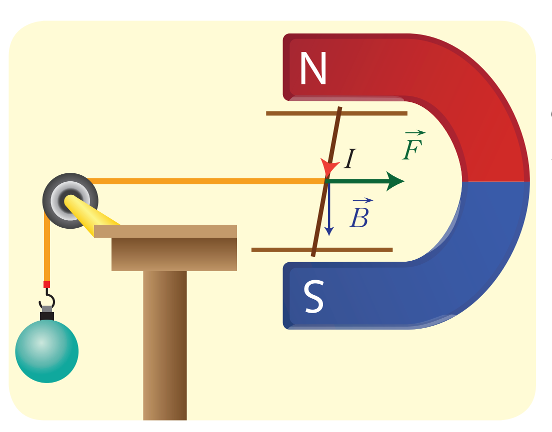
1. احسب التدفّق المغناطيسيّ الذي يجتاز لفّات الملفّ.
2. ما مقدار التغيّر في التدفّق المغناطيسيّ إذا دار الملفّ في الاتّجاه الموجب بزاوية 45°.

المسألة (12):



أربعُ أسلاك ناقلة طويلة تقع في مستوٍ واحد، ومتقاطعة مع بعضها البعض لتشكّل مربّعاً طول ضلعه $40\,cm$، أوجد شدَّةَ، واتجاهَ التيّار الذي يجب أن يمرَّ في الناقل الرابع بحيث تكون شدّة الحقل المغناطيسيّ في مركز المربّع معدومة.
حيث إنّ: $I_1 = 10\,A, I_2 = 5\,A, I_3 = 15\,A$

المسألة (13):



في الشكل المجاور تستند ساقٌ نحاسيّةٌ طولها $10\,cm$، وكتلتها $20\,g$ على سكّتين نحاسيّتين أفقيّتين، وتخضعُ بكاملها لحقل مغناطيسيّ منتظم شاقوليّ شدّته $B = 2 \times 10^{-2}\,T$ ويمرُّ فيها تيّارٌ كهربائيٌّ متواصلٌ شدّته $15\,A$ وللحفاظ على توازن هذه السّاق نعلّق في مركز ثقلها خيطاً لا يمتطّ كتلته مهملة، مربوطٌ بكتلة.

المطلوب:

1. احسب كتلة الجسم المعلّق.
2. احسب شدّة قوّة ردّ فعل السكّتين على السّاق.

المسألة (14):

تيّار كهربائيّ شدّته $20\,A$ يمرُّ في سلك مستقيم طوله $10\,cm$ فإذا وضع السلك كاملاً في حقل مغناطيسيّ شدّته $2 \times 10^{-3}\,T$ وكان السلك يصنع مع خطوط الحقل المغناطيسيّ زاوية 30° احسب شدّة القوّة الكهرطيسيّة المؤثّرة في السلك.

المسألة (15):

نخضع إلكتروناً يتحرّك بسرعة $8 \times 10^3\ \text{Km.s}^{-1}$ إلى تأثير حقل مغناطيسيّ منتظم ناظميّ على شعاع سرعته شدّته $B = 5 \times 10^{-3}\ \text{T}$.

المطلوب:

1. وازن بالحساب بين شدّة ثقل الإلكترون وشدّة قوّة لورنز المؤثِّرة فيه. ماذا تستنتج؟
2. برهن أنَّ حركة الإلكترون ضمن المنطقة التي يسودها الحقل المغناطيسيّ هي حركة دائريّة منتظمة، ثمّ استنتج العلاقة المحدِّدة لنصف قطر المسار الدائريّ، واحسب قيمته.
3. احسب دور الحركة.

$(e = 1.6 \times 10^{-19}\ \text{C}\ ,\ m_e = 9 \times 10^{-31}\ \text{kg}\ ,\ \text{g} = 10\ \text{m.s}^{-2})$

المسألة (16):

إطار مربّع الشكل مساحة سطحه $s = 25\ \text{cm}^2$ يحوي 50 لفّة من سلك نحاسيّ معزول نعلِّقه بسلك رفيع عديم الفتل وفق محوره الشاقوليّ ونخضعه لحقل مغناطيسيّ منتظم خطوطه أفقيّة شدّته $B = 10^{-2}\ \text{T}$ بحيث يكون مستوي الإطار يوازي منحى الحقل $\overrightarrow{B}$ عند عدم مرور تيّار، نمرّر في الإطار تيّاراً كهربائيّاً شدّته $I = 5\ \text{A}$ **المطلوب:**

1. احسب شدَّة القوَّة الكهرطيسيّة المؤثِّرة في كلٍّ من الضِّلعين الشاقوليّين لحظة مرور التيّار.
2. احسب عزم المزدوجة الكهرطيسيّة المؤثّرة في الإطار لحظة إمرار التيّار السابق.
3. احسب عمل المزدوجة الكهرطيسيّة عندما ينتقل الإطار من وضعه السّابق إلى وضع التّوازن المستقرّ.
4. نستبدل سلك التّعليق بسلك فتل ثابت فتله k لنشكِّل مقياساً غلفانيّاً ونمرِّر في الإطار تيّاراً كهربائيّاً شدّته ثابتة $2\ \text{mA}$ فيدور الإطار بزاوية $0.02\ \text{rad}$ ويتوازن. استنتج بالرموز علاقة ثابت فتل السلك k واحسب قيمته، ثمّ احسب قيمة ثابت المقياس الغلفانيّ G.
5. نزيد حساسيَّة المقياس 10 مرّات من أجل التيّار نفسه، احسب ثابت فتل سلك التعليق بالوضع الجديد.

(يهمل تأثير الحقل المغناطيسيّ الأرضيّ)

المسألة (17):

ملفّ مستطيل مساحته $200\ \text{cm}^2$ يتكوَّن من 100 لفَّة يمرّ فيه تيّار شدّته 3A، وضع في حقل مغناطيسيّ منتظم شدّته $0.1\ \text{T}$ احسب عزم المزدوجة الكهرطيسيّة المؤثِّرة عليه عندما يكون مستوي الملفّ يصنع زاوية 60° مع خطوط الحقل المغناطيسيّ.

المسألة (18):

وشيعة طولها $30\ \text{cm}$ ومساحة مقطعها $3 \times 10^{-2}\ \text{m}^2$ وذاتيّتها $L = 5 \times 10^{-3}\ \text{H}$

1. احسب عدد لفّاتها.
2. نمرّر في الوشيعة تيّاراً كهربائيّاً متواصلاً شدّته $15\ \text{A}$ احسب الطاقة الكهرطيسيَّة المختزنة في الوشيعة.
3. نجعل شدّة التيّار تتناقص بانتظام من $20\ \text{A}$ إلى الصفر خلال $0.5\ \text{s}$ احسب القيمة الجبريّة للقوّة المحرّكة الكهربائيّة المتحرِّضة في الوشيعة وحدِّد جهة التيّار المتحرِّض.
4. نمرّر في سلك الوشيعة تيّاراً كهربائيّاً شدّته اللحظيّة مقدّرة بالأمبير $\overline{i} = 20 - 5t$، احسب القيمة الجبريّة للقوّة المحرّكة الكهربائيّة التحريضيّة الذاتيّة الناشئة فيها.

(نهمل تأثير الحقل المغناطيسيّ الأرضيّ)

المسألة (19):

وشيعة طولها $\frac{2\pi}{5}$m وعدد لفّاتها 200 لفّة ومساحة مقطعها $20\,cm^2$ حيث المقاومة الكلّيّة لدارتها المغلقة 5Ω

1. نضع الوشيعة في منطقة يسودها حقل مغناطيسيّ ثابت المنحى وجهة خطوطه توازي محور الوشيعة، نزيد شدّة هذا الحقل بانتظام خلال $0.5\,s$ من $0.04\,T$ إلى $0.06\,T$:
   - **a.** حدّد على الرسم جهة كلٍّ من الحقلين المغناطيسيّين المحرِّض والمتحرِّض في الوشيعة وعيِّن جهة التيّار المتحرِّض.
   - **b.** احسب القيمة الجبريّة لشدّة التيّار الكهربائيّ المتحرِّض المارّ في الوشيعة.
   - **c.** احسب ذاتيّة الوشيعة.
2. نزيل الحقل المغناطيسيّ السابق ثمّ نمرّر في الوشيعة تيّاراً كهربائياً شدّته اللحظيّة $\bar{i} = 6 + 2t$
   - **a.** احسب القيمة الجبريّة للقوّة المحرّكة الكهربائيّة التحريضيّة الذاتيّة في الوشيعة.
   - **b.** احسب مقدار التغيُّر في التدفُّق المغناطيسيّ لحقل الوشيعة في اللحظتين: $t_1 = 0,\ t_2 = 1\,S$
   - **c.** نمرّر في سلك الوشيعة تيّاراً كهربائيّاً متواصلاً شدّته $10\,A$ بدل التيّار السابق. احسب الطاقة الكهرطيسيّة المختزنة في الوشيعة.

(يهمل تأثير الحقل المغناطيسيّ الأرضيّ)

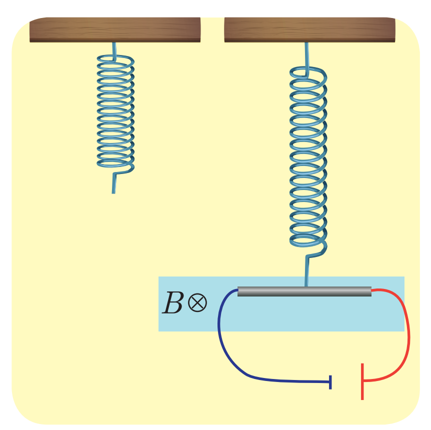
المسألة (20):

وشيعة طولها $\frac{2\pi}{5}$m وعدد لفّاتها 1000 لفّة نصف قطر مقطعها $2\,cm$ ومقاومة دارتها الكهربائيّة المغلقة 5Ω مؤلّفة من سلك نحاسيٍّ معزول قطر مقطعه $\frac{\pi}{500}$m

المطلوب:

1. احسب طول سلك الوشيعة واحسب عدد الطبقات.
2. احسب ذاتيّة الوشيعة.
3. نعلّق الوشيعة من منتصفها بسلك شاقوليّ عديم الفتل ونجعل محورها أفقيّاً عموديّاً على خطوط حقل مغناطيسيّ منتظم أفقيّ شدّته $10^{-2}\,T$ ونمرّر فيها تيّاراً كهربائيّاً شدّته $4\,A$ المطلوب:
   - **a.** احسب قيمة عزم المزدوجة الكهرطيسيّة عندما تكون قد دارت زاوية 30°.
   - **b.** احسب عمل المزدوجة الكهرطيسيّة المؤثّرة في الوشيعة من لحظة مرور التيّار حتّى اللحظة التي تكون فيها قد دارت بزاوية 60°.
4. نقطع التيّار السابق عن الوشيعة وهي في وضع التّوازن المستقرّ ثمّ نديرها حول السلك الشاقوليّ خلال $0.5\,S$ ليصبح محورها عموديّاً على خطوط الحقل المغناطيسيّ المطلوب:
   - **a.** احسب شدّة التيّار المتحرِّض المتولّد في الوشيعة.
   - **b.** احسب كمّيّة الكهرباء المتحرِّضة خلال الزمن السابق.
5. نعيد الوشيعة إلى وضع التوازن المستقرّ ثمّ ندخل بداخلها نواة حديدية عامل نفاذيتها المغناطيسيّ 50 احسب شدّة الحقل المغناطيسيّ داخل النواة الحديديّة واحسب قيمة التدفُّق المغناطيسيّ داخل الوشيعة.

المسألة (21):



ساق نحاسيَّة طولها $80\,cm$ نحرِّكها بسرعة أفقيَّة ثابتة $\vec{v}$ عموديَّة على شعاع حقل مغناطيسيّ منتظم أفقيّ شدَّته $0.5\,T$ فيكون فرق الكمون بين طرفي الساق $0.4\,V$

المطلوب:

1. استنتج العلاقة المحدِّدة لسرعة الساق واحسب قيمتها.
2. نأخذ الساق النحاسيَّة ونعلِّقها من منتصفها ضمن منطقة الحقل السابق بنابض مرن شاقوليّ مهمل الكتلة ثابت صلابته $100\,N.m^{-1}$ ونمرِّر فيها تيَّاراً كهربائياً شدَّته $20\,A$ فتتوازن الساق بعد أن يستطيل النابض بمقدار $20\,m$ عن طوله الأصليّ:
   - a. حدِّد على الرسم القوى الخارجيَّة المؤثِّرة على الساق.
   - b. استنتج بالرموز العلاقة المحدِّدة لكتلة الساق واحسب قيمتها.

المسألة (22):

ملفّ دائريٌّ نصف قطره الوسطيّ $4\,cm$ مؤلَّف من 600 لفَّة متماثلة من سلك نحاسيٍّ معزول معلَّق من الأعلى بسلك شاقوليّ عديم الفتل ضمن حقل مغناطيسيّ منتظم أفقيّ خطوطه ناظميَّة على مستوي الملفّ شدَّته $0.04\,T$ نصل طرفي سلك الملفّ بمقياس غلفانيّ. المطلوب:

1. ندير الملفّ بدءاً من وضع توازنه بزاوية $\frac{\pi}{2}\,rad$ خلال $0.2\,s$ احسب شدَّة التيّار المتحرِّض في الملف حيث المقاومة الكلِّيَّة للدارة 5Ω.
2. نستبدل سلك التعليق السابق بمحور دوران شاقوليّ ثمَّ ندير الملفّ بسرعة زاوية ثابتة تقابل $\frac{2}{\pi}\,Hz$ المطلوب:
   - a. استنتج بالرموز العلاقة المحدِّدة للقيمة الجبريَّة للقوَّة المحرِّكة الكهربائيَّة المتحرِّضة المتناوبة الجيبيَّة ثمَّ اكتب التابع الزمنيَّ لكلٍّ من هذه القوَّة والتيّار المتحرِّض المتناوب الجيبيّ.
   - b. احسب طول سلك الملفّ.

المسألة (23):

يغذِّي تيّار متناوب جيبي يعطى توتُّره اللحظيُّ بالعلاقة $u = 120\sqrt{2}\cos 100\pi t$ الجهازين الآتيين المربوطين فيما بينهما على التفرُّع:

- a. جهاز تسخين كهربائيّ ذاتيَّته مهملة يرفع درجة حرارة $1g$ من الماء من الدرجة $0^\circ C$ إلى الدرجة $72^\circ C$ خلال $7\,min$ بمردود تسخين 100%.
- b. محرِّك استطاعته $600\,watt$ وعامل استطاعته $\frac{1}{2}$ فيه التيّار متأخِّر بالطور عن التيّار.

المطلوب:

1. احسب الشدَّة المنتجة للتيّار في كلٍّ من الفرعين، واكتب تابع الشدَّة اللحظيَّة في كلٍّ منهما.
2. احسب الشدَّة المنتجة الكلِّيَّة باستخدام إنشاء فرينل، واحسب عامل استطاعة الدارة.
3. احسب سعة المكثِّفة التي إذا ضمَّت أيضاً على التفرُّع في الدارة جعلت الشدَّة الكلِّيَّة متَّفقة بالطور مع فرق الكمون المطبق عندما تعمل الأجهزة جميعاً، واحسب قيمة الشدَّة المنتجة في الدارة الأصليَّة عندئذ.

4. نستعمل التوتّر السابق لتغذية دارة تتألّف من فرعين يحوي أحدهما المكثِّفة السابقة ويحوي الآخر وشيعة مهملة المقاومة، احسب ردية الوشيعة التي تنعدم من أجلها شدّة التيّار في الدارة الأصليّة باستخدام إنشاء فرينل

(الحرارة الكتلية للماء $C_0 = 4200 .\text{kg}^{-1}.\text{C}^{\circ -1}$)

المسألة (24):

مأخذ تيّار متناوب جيبي بين طرفيه توتُّر منتج 100 v نصله لدارة تحوي على فرعين: يحوي الأوّل مقاومة ومكثِّفة يمرُّ فيه تيّار شدّته المنتجة I_{eff_1} متقدِّم بطور $\frac{\pi}{3}$ rad عن التيّار الأصليّ، ويحوي الفرع الثاني وشيعة يمر فيها تيّار شدّته المنتجة I_{eff_2} متأخِّر بطور $\frac{\pi}{6}$ rad عن التيّار الأصليّ ويمرُّ في الدارة الأصليَّة تيّار تابع شدّته اللحظيَّة: $i = 20\cos 100\pi t$ محقّقاً توافقاً في الطور مع التوتُّر المطبق.

المطلوب:

1. استنتج قيمة كلٍّ من I_{eff_1} ، I_{eff_2} باستخدام إنشاء فرينل.
2. إذا كانت قيمة المقاومة في الفرع الأول $10\,\Omega$ احسب ممانعة هذا الفرع واتساعيَّة المكثِّفة فيه
3. إذا كانت رديّة الوشيعة في الفرع الثاني $\frac{10}{\sqrt{3}}\,\Omega$ احسب مقاومة الوشيعة.

المسألة (25):

يعطى فرق الكمون بين نقطتين (a,b) بالعلاقة $\overline{u} = 100\sqrt{2}\cos(100\pi \text{t})\,(\text{Volt})$

1. احسب فرق الكمون المنتج بين النقطتين وتواتر التيّار
2. نصل (a,b) بمقاومة صرف $(50\,\Omega)$ اكتب تابع شدّة التيّار في هذه المقاومة.
3. نصل (a,b) بفرع آخر يحوي على تسلسل مقاومة صرف $(50\,\Omega)$ مع مكثِّفة سعتها C فيمرّ تيّار قيمة شدّته المنتجة $\sqrt{2}$ A ، اكتب التابع الزمني للتيّار المارّ فيه واحسب سعة المكثِّفة C.
4. احسب قيمة الشدّة المنتجة للتيّار في الدارة الأصليَّة باستخدام إنشاء فرينل.
5. احسب ذاتيَّة الوشيعة المهملة المقاومة الواجب ربطها على التفرُّع بين النقطتين (a,b) لتصبح شدَّة التيَّار الأصليَّة على وفاق بالطّور مع فرق الكمون المطبق عندما تعمل الفروع الثلاثة معاً ثمَّ احسب قيمة الشدَّة المنتجة الأصليَّة للتيَّار.

المسألة (26):

نضع بين طرفي مأخذ لتيَّار متناوب توتُّره المنتج ثابت، مقاومة صرفة R موصولة على التسلسل مع وشيعة مقاومتها الأوميّة R' ورديّتها $30\,\Omega$ عامل استطاعتها 0.8 فيمر تيّار شدّته اللحظيّة تعطى بالعلاقة $\overline{i} = 3\sqrt{2}\cos(100\pi \text{t})\,(\text{A})$

المطلوب:

1. احسب القيمة للشدَّة المنتجة للتيار وتواتره.
2. احسب كلّاً من المقاومة الأوميّة للوشيعة R' وممانعتها.
3. إذا علمت أنَّ فرق الكمون المنتج بين طرفي المقاومة يساوي نصف فرق الكمون المنتج بين طرفي الوشيعة، فاحسب كلَّ من:
   a. المقاومة الصرفة R
   b. الاستطاعة المستهلكة فيها

c. احسب الاستطاعة المستهلكة في الدارة.

4. نضيف بين طرفي المأخذ السابق على التسلسل مع المقاومة R والوشيعة مكثِّفة سعتها C فتبقى الشدَّة المنتجة للتيَّار نفسها، احسب قيمة سعة هذه المكثِّفة.

5. نضيف إلى المكثِّفة C في الدارة السابقة مكثِّفة C' تجعل الشدَّة على توافق بالطور مع التوتُّر المطبق. احسب السعة المكافئة للمكثِّفتين وحدِّد طريقة الضمّ واحسب سعة المكثِّفة المضافة C'.

المسألة (27):

نطبِّق بين نقطتين (a,b) فرقاً في الكمون متناوباً جيبيّاً قيمته المنتجة $40\sqrt{3}\,\mathrm{V}$ وتواتره $f = 50\,\mathrm{Hz}$.

1. نربط بين نقطتين (a,b) على التسلسل مقاومة صرفة $\mathrm{R} = 20\,\Omega$ ووشيعة مقاومتها الأوميّة $\mathrm{r} = 10\,\Omega$ وممانعتها $20\,\Omega$

المطلوب:

a. احسب الممانعة الكلِّيَّة والشدَّة المنتجة المارَّة في الدارة.

b. احسب الاستطاعة المتوسِّطة المصروفة في الجملة وعامل استطاعتها.

c. احسب الطاقة الحراريَّة المنتشرة عن المقاومة الصرفة خلال زمن $10\,\mathrm{min}$ واكتب تابع التوتُّر اللحظيّ بين طرفي المقاومة الصرفة.

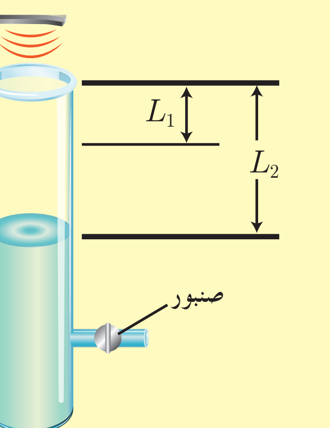
2. نعيد وصل الوشيعة على التفرُّع مع المقاومة الصرفة بين النقطتين السابقتين (a,b)

المطلوب:

a. احسب قيمة الشدَّة المنتجة للتيَّار المارّ في الدارة الأصليَّة قبل التفرُّع باستخدام إنشاء فرينل.

b. احسب قيمة الاستطاعة المتوسِّطة المستهلكة في جملة الفرعين وقيمة عامل الاستطاعة عندئذ.

المسألة (28):



أنبوب أسطوانيّ مملوء بالماء وله صنبور عند قاعدته، تهتزّ رنّانة فوق طرفه العلويّ المفتوح، وعند إنقاص مستوى الماء في الأنبوب، سُمع صوت شديد يبعد مستوى الماء فيه عن طرفه العلوي بمقدار $L_1 = 17\,\mathrm{cm}$ ، وباستمرار إنقاص مستوى الماء سُمع صوت شديد ثانٍ يبعد مستوى الماء فيه عن طرفه العلوي بمقدار $L_2 = 49\,\mathrm{cm}$ ، فإذا علمت أنّ سرعة انتشار الصوت في شروط التجربة $v = 340\,\mathrm{m.s^{-1}}$. احسب تواتر الرنّانة المستخدمة.

المسألة (29):

مزمار ذو فم نهايته مفتوحة طوله $L = 3\,\mathrm{m}$ فيه هواء درجة حرارته $0^\circ\mathrm{C}$ حيث سرعة انتشار الصوت فيه $v = 330\,\mathrm{m.s^{-1}}$ وتواتر الصوت الصادر $f = 110\,\mathrm{Hz}$.

المطلوب:

1. احسب البُعد بين بطنين متتاليين، ثمَّ استنتج رتبة الصوت.

2. نسخّن المزمار إلى الدرجة $t = 819^\circ\mathrm{C}$ ، استنتج طول الموجة المتكوّنة ليصدر المزمار الصوت السابق نفسه.

3. احسب طول مزمار آخر ذي فم، نهايته مغلقة يحوي الهواء في الدرجة $0^\circ\mathrm{C}$ ، تواتر مدروجه الثالث يساوي تواتر الصوت الصادر عن المزمار السابق (في الدرجة $0^\circ\mathrm{C}$).

المسألة (30):

خيط مرن أفقيّ طوله $L = 1\,\text{m}$ وكتلته $m = 10\,\text{g}$ ، نربط أحد طرفيه برنّانة كهربائيّة شعبتاها أفقيّتان تواترها $f = 50\,\text{Hz}$ ، ونشدّ الخيط على محزّ بكرة بثقل مناسب لتكون نهايته مقيّدة، فإذا علمت أنّ طول الموجة المتكوّنة $40\,\text{cm}$.

المطلوب:

1. ما عدد المغازل المتكوّنة على طول الخيط؟
2. احسب السعة بنقطة تبعد $20\,\text{cm}$ ثمّ بنقطة تبعد $30\,\text{cm}$ عن النهاية المقيّدة للخيط إذا كانت سعة اهتزاز المنبع $Y_{\text{max}} = 1\,\text{cm}$.
3. احسب الكتلة الخطّيّة للخيط، واحسب قوّة شدّ هذا الخيط، وسرعة انتشار الاهتزاز فيه.
4. احسب قوّة شدّ الخيط التي تجعله يهتزّ بمغزلين، وحدّد أبعاد العقد ولبطون عن النهاية المقيّدة في هذه الحالة.
5. نجعل طول الوتر نصف ما كان عليه. هل تتغيّر كتلته الخطّيّة باعتبار أنّه متجانس.

المسألة (31):

وتر طوله $L = 1.5\,\text{m}$ ، وكتلته $m = 15\,\text{g}$ نجعله يهتزّ بالتجاوب بواسطة هزّازة تواترها $f = 100\,\text{Hz}$ يتشكّل فيه ثلاثة مغازل

المطلوب حساب:

1. طول موجة الاهتزاز.
2. الكتلة الخطّيّة للوتر.
3. سرعة انتشار الاهتزاز في الوتر.
4. مقدار قوّة الشدّ المطبقة على الوتر.
5. بعد أماكن عقد وبطون الاهتزاز عن نهايته المقيّدة.

المسألة (32):

مزمار ذو فم، نهايته مفتوحة، طوله $L = 3.4\,\text{m}$ مملوء بالهواء يصدر صوتاً تواتره $f = 1000\,\text{Hz}$ حيث سرعة انتشار الصوت في هواء المزمار $v = 340\,\text{m.s}^{-1}$ في درجة حرارة التجربة:

1. احسب عدد أطوال الموجة التي يحويها المزمار.
2. إذا تكوّنت داخله عقدة واحدة فقط في منتصف المزمار في الدرجة نفسها من الحرارة، فاحسب تواتر الصوت البسيط عندئذ.
3. إذا كانت سرعة انتشار الصوت في الهواء $v = 331\,\text{m.s}^{-1}$ في الدرجة 0°C ، فاحسب درجة حرارة التجربة.

المسألة (33):

يصدر مزمار ذو فم نهايته مفتوحة صوتاً بإمرار هواء بدرجة $t = 15^\circ\text{C}$ ، فيتكوّن داخله عقدتان للاهتزاز البعد بينهما $50\,\text{cm}$ ،

المطلوب:

1. طول موجة الصوت البسيط الصادر عن المزمار.
2. طول المزمار.
3. تواتر الصوت البسيط الصادر عن المزمار.

4. طول مزمار آخر ذي فم نهايته مغلقة يعطي في الدرجة $t = 15^{\circ}\mathrm{C}$ صوتاً أساسيّاً مواقتاً للصوت الصادر عن المزمار السابق.
سرعة انتشار الصوت في الهواء بالدرجة $t = 0^{\circ}\mathrm{C}$ تساوي $v = 331\,\mathrm{m.s^{-1}}$.

المسألة (34):

1. لدينا مزمار متشابه الطرفين طوله $L = 3.32\,\mathrm{m}$ يصدر صوتاً تواتره $f = 1024\,\mathrm{Hz}$، وهو يحوي هواء بدرجة $t = 15^{\circ}\mathrm{C}$ ينتشر فيه الصوت بسرعة $v = 340\,\mathrm{m.s^{-1}}$. احسب عدد أطوال الموجة التي يحويها المزمار.
2. نريد أن يحوي المزمار نصف عدد أطوال الموجة السابقة وهو يصدر الصوت السابق نفسه بتغيير درجة حرارة هوائه فقط لتصبح t'، احسب قيمة t'.
3. إذا تكوّن في طرفي المزمار بطنان للاهتزاز وعقدة واحدة فقط في منتصفه بدرجة الحرارة $t = 15^{\circ}\mathrm{C}$ بتغيير قوّة النفخ عند منبعه الصوتيّ. احسب تواتر الصوت الصادر عنه حينئذٍ.

المسألة (35):

استُعمل عمود هوائيّ مغلق لقياس سرعة انتشار الصوت بواسطة رنّانة تواترها $f = 392\,\mathrm{Hz}$، فسُمع أوّل صوتٍ شديدٍ عندما كان طول عمود الهواء مساوياً $L_1 = 21\,\mathrm{cm}$، وسُمع الصوت الشديد الثاني عندما كان طول عمود الهواء مساوياً $L_2 = 65.3\,\mathrm{cm}$. احسب سرعة انتشار الصوت في هذه الحالة. هل درجة الحرارة في العمود الهوائيّ أكبر أم أصغر من درجة حرارة الغرفة؟ (والتي تساوي $t = 20^{\circ}\mathrm{C}$).

المسألة (36):

مزمار ذو فم نهايته مغلقة يحوي غاز الأكسجين سرعة انتشار الصوت فيه $v = 324\,\mathrm{m.s^{-1}}$ يصدر صوتاً أساسياً تواتره $f = 162\,\mathrm{Hz}$.

1. احسب طول هذا المزمار.
2. نستبدل بغاز الأكسجين في المزمار غاز الهدروجين في درجة الحرارة نفسها، احسب تواتر الصوت الأساسيّ الذي يصدره هذا المزمار في هذه الحالة.

المسألة (37):

يعمل أنبوب لتوليد الأشعّة السينيّة بتوتّر $8 \times 10^{4}\,\mathrm{V}$ حيث يصدر الإلكترون عن المهبط بسرعة معدومة عمليّاً.

المطلوب:

1. استنتج بالرموز الطاقة الحركيّة للإلكترون عند اصطدامه بمقابل المهبط (الهدف)، ثمَّ احسب قيمتها.
2. احسب سرعة الإلكترون لحظة اصطدامه بالهدف.
3. احسب أقصر طول موجة للأشعّة السينيَّة الصادرة.

$c = 3 \times 10^{8}\,\mathrm{m.s^{-1}}$, $m_e = 9.1 \times 10^{-31}\,\mathrm{kg}$, $h = 6.6 \times 10^{-34}\,\mathrm{J.s}$, $\mathrm{e} = 1.6 \times 10^{-19}\,\mathrm{C}$
يهمل ثقل الإلكترون

المسألة (38):

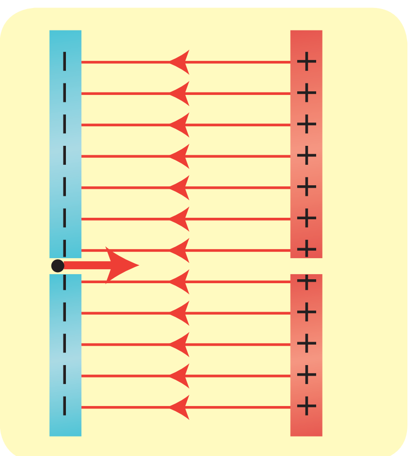
يضيء منبع وحيد اللون، طول موجته $0.5\ \mu m$ حجيرةً كهرضوئيّةً طاقةُ انتزاعِ الإلكترون فيها $E_s = 33 \times 10^{-20} J$

المطلوب:

1. احسب طول موجة عتبة الإصدار.
2. احسب الطاقة الحركيّة للإلكترون لحظةَ انتزاعِه من المهبط وسرعته العظمى.

$c = 3 \times 10^8 m.s^{-1}$, $m_e = 9.1 \times 10^{-31} kg$, $h = 6.6 \times 10^{-34} J.s$

المسألة (39):



نطبّق فرقاً في الكمون، قيمته $720\ V$ بين اللبوسين الشاقوليّين لمكثّفة مستوية. ندخل إلكتروناً ساكناً في نافذة من اللبوس السالب. استنتج العلاقة المحدِّدة لسرعة هذا الإلكترون عندما يخرج من نافذة مقابلة في اللبوس الموجب – بإهمال ثقل الإلكترون – ثم احسب قيمتها.

$c = 3 \times 10^8 m.s^{-1}$, $m_e = 9.1 \times 10^{-31} kg$

المسألة (40):

نولِّد حزمة من الإلكترونات أفقيّة نعدُّها متجانسة سرعتها $4 \times 10^7 m.s^{-1}$ في الخلاء ونجعلها تدخل بين لبوسي مكثّفة مستوية أفقيّة يبعد أحدهما عن الآخر $d = 2\ cm$ وبينهما فرق في الكمون $900\ V$

المطلوب:

1. احسب شدَّة الحقل الكهربائيّ المنتظم بين لبوسي المكثّفة.
2. احسب شدَّة القوَّة الكهربائيَّة التي يخضع لها إلكترون من الحزمة.
3. ادرس حركة إلكترون من الحزمة بين لبوسي المكثِّفة وحدِّد معادلة حامل مساره بالنسبة مراقب خارجي.
4. حساب شدَّة المغناطيسيّ المعامد للحقل الكهربائيّ المتولِّد بين لبوسي المكثِّفة الذي يجعل الإلكترون يتحرَّك بحركة مستقيمة منتظمة.

$m_e = 9.1 \times 10^{-31} kg$, $e = 1.6 \times 10^{-19} C$

المسألة (41):

إذا كان أكبر طول موجة يلزم لانتزاع الإلكترون من سطح معدن السيزيوم في حجيرة كهرضوئيّة يساوي $6600\ A^{\circ}$، فالمطلوب حساب:

1. الطاقة اللازمة لانتزاع الإلكترون كمّيّة حركة الفوتون الوارد عندما يضاء سطح المعدن بضوء وحيد اللون طول موجته $\lambda = 4400\ A^{\circ}$.
2. الطاقة الحركيَّة العظمى للإلكترون لحظة خروجه من مهبط الحجيرة.
3. قيمة كمون الإيقاف.

$(e = 1.6 \times 10^{-19} C$, $c = 3 \times 10^8 m.s^{-1}$, $h = 6.6 \times 10^{-34} J.s)$

المسألة (42):

أشعَّة سينيَّة تواترها 3×10^{18} Hz الأعظميّ تصدر عن أنبوب لتوليد الأشعّة السينيّة. بإهمال سرعة الإلكترون لحظة مغادرته المهبط،

المطلوب:

1. احسب طول الموجة الأصغريّ للأشعّة السينيّة الصادرة.
2. احسب فرق الكمون بين المصعد و المهبط.
3. احسب سرعة الإلكترون لحظة اصطدامه بمقابل المهبط (الهدف).

$(e = 1.6 \times 10^{-19}\text{C} \ , \ c = 3 \times 10^{8}\text{m.s}^{-1} \ , \ m_e = 9.1 \times 10^{-31}\text{kg} \ , \ h = 6.6 \times 10^{-34}\text{J.s})$

يهمل ثقل الإلكترون

المسألة (43):

يبعد المرّيخ عن الشمس وسطيّاً 1.52 AU وتصل سطحه تقريباً %100 من أشعَّة الشمس المتَّجهة إليه، فإذا علمت أنّ النقص في كتلة الشمس $4.22 \times 10^{11}\ \text{kg.s}^{-1}$ فاحسب الطاقة التي يتلقّاها $1\ (\text{km})^2$ من سطح المرّيخ خلال دقيقة واحدة.

(الوحدة الفلكيّة AU هي المسافة بين الأرض والشمس وسطيّاً وتعدّ 150 مليون كيلومتر)

المسألة (44):

قيس الانزياح في طول موجة الهيدروجين لمجرّة فكان %5 ممّا كان عليه، احسب بعد تلك المجرّة.

باعتبار ثابت هابل $H_0 = 68\ \text{kg.s}^{-1}/\text{Mpc}$ ، والفرسخ الفلكيّ pc = 3.26 light year ، وسرعة الضوء في الخلاء $c = 3 \times 10^{8}\text{m.s}^{-1}$

المسألة (45):

باعتبار لكوكب المرّيخ شكل كرويّ قطره 6800 km وكتلته 6.4×10^{23} kg ،

1. احسب سرعة الإفلات من جاذبيّة المرّيخ.
2. لو ضغط المرّيخ حتى أصبح ثقباً أسوداً. فأحسب نصف قطر المرّيخ عندئذ.

المصطلحات الانكليزية

English	Arabic
Simple Harmonic Motion	الحركةُ التوافقيّة البسيطةُ
Spring	نابض
Restoring Force	قوّة الإرجاع
Amplitude	المطال
Frequency	التواتر
Phase	الدّور
Elastic Potential Energy	الطاقة الكامنة المرونيّة
Kinetic Energy	الطاقة الحركيّة
Mechanical Energy	الطاقة الميكانيكيّة
Sinusoidal Torsional vibrations	الاهتزازاتُ الجيبيّةُ الدّورانيّةُ
Undamped Torsional Pendulum	نوّاس الفتلِ غيرُ المُتخامدِ
Torsional Pendulum	نواس الفتل
Torsion Spring	سلك الفتل
Torsion Spring Constant	ثابت فتل السلك
Double Torsion	مزدوجة الفتل
Angular Amplitude	المطال الزاوي
Anharmonic Oscillation	الاهتزازاتُ غيرُ التوافقيّةِ
Non-Damped Gravity Pendulum	النوّاس الثقليّ غيرُ المتخامدِ
Compound Pendulum	النوّاس المركّب
Simple Pendulum	النوّاس البسيط
Fluid Mechanics	ميكانيكُ الموائعِ
Ideal Fluid	المائع المثاليّ
Flow Line	خطّ الانسياب

English	Arabic
Uniform Flow	الجريان المنتظم
Non-Uniform Flow	الجريان غير المنتظم
Flow Rate	معدل التدفّق
Continuity Equation	معادلة الاستمراريّة
Bernoulli Equation	معادلة برنولي
Torricelli's Theorem	نظريّة تور يشيلي
Lift Force	قوّة الرفع
Conjugate Pairs	النسبيّةُ الخاصّةُ
Acid Dissociation Constant (Ka)	Special Relativity
Frame of Reference	جملة المقارنة
The Speed of Light in Vacuum	سرعة الضوء في الخلاء
Relativistic Mechanics	ميكانيكِ نسبيّ
Rest Energy	طاقة سكونيّة
Magnetism	المغناطيسيّة
Horseshoe Magnet	مغناطيسٌ نضويٌّ
Magnetic Field	حقلٌ مغناطيسيٌّ
Magnetic Field Strength	شدّةُ الحقلِ المغناطيسيِّ
Magnetic Permeability	عاملُ النفاذيّة المغناطيسيِّ
Earth's Magnetic Field	الحقلُ المغناطيسيُّ الأرضيُّ
Electromagnetic Effect	الأثرُ المغناطيسيُّ للتيّارِ الكهربائيِّ
Magnetic Flux	تدفّقُ مغناطيسيُّ
Lorentz Force	قوَّةُ لورنز
Maxwell Theory	نظريَّةُ مكسويل
Galvanometer	مقياسُ غلفاني

English	Arabic
Barlow's Wheel	دولابُ بارلو
Electromagnetic Energy	طاقةٌ كهرطيسيَّة
Induced Current	تيّارٌ كهربائيٌّ مُتحرّضٌ
Induced Electric Field	قوَّةٌ مُحرِّكةٌ كهربائيّةٌ مُتحرِّضةٌ
Induced Magnetic Field	حقلٌ مغناطيسيٌّ مُتحرِّضٌ
Electromagnetic Induction	التحريضُ الكهرطيسيٌّ
Alternator, Sinusoidal AC	مولِّدٌ، تيّارٌ مُتناوِبٌ جيبيٌّ
Foucault Currents	تيّاراتُ فوكو
Self-Inductance	تحريضٌ ذاتيٌّ
Self-Inductance Coil	ذاتيّةُ الوشيعةِ
Oscillator Circuits and High-Frequency Currents	الدَّاراتُ المُهتزَّة والتيّاراتُ عاليةُ التَّواتُر
Low-Frequency Currents	التيّاراتُ المُنخفِضةُ التَّواتُر
High-Frequency Currents	التيّاراتُ العاليةُ التَّواتُرِ
Oscillatory Discharge	التَّفريغُ المُهتزُّ
Electrical Resonance	الطّنين الكهربائيّ
Electric Transformer	المُحوِّلاتُ الكهربائيّة
Standing Waves	الأمواجُ المُستقِرَّة
Transverse Standing Waves	الأمواجُ المُستقِرَّة العرضيّة
Ionization Energy	طاقة التّأيُن
Energy Levels	سويّات الطّاقة
Atomic Spectra	الطّيوف الذّرّيّة
Spectral Analysis	التَّحليلُ الطّيفيّ
Orbit	مدار

English	Arabic
Electric Power	القوَّة الكهربائيّة
Binding Energy	طاقة ارتباط
Cathode Rays	الأشعّة المهبطيّة
Electric Discharge	الانفراغُ الكهربائيّ
Fluorescent Screen	الشّاشة المُتألِّقة
Quantum Theory	نظريّةُ الكمّ
Einstein Theory	نظريّةُ أينشتاين
Photovoltaic Effect	الفعلُ الكهرضوئيّ
Photovoltaic Cell	الخليّةُ الكهرضوئيّة
X-Rays	الأشعّةُ السّينيّة
The Nature of X-Rays	طبيعةُ الأشعّةِ السّينيّة
X-Rays Absorption	امتصاصُ الأشعّةِ السّينيّة
X-Rays Permeability	نفاذُ الأشعّةِ السّينيّة
Laser Radiation	أشعةُ اللّيزر
Stimulated Emission	الإصدارُ المحثوث
Spontaneous Emission	الإصدارُ التّلقائيّ
The Active Medium	الوسط الفعّال
Astrophysics	الفيزياءُ الفلكيَّة
Astronomical Object	جرمٌ سماويّ
Star	النّجمُ
Galaxy	المجرَّة
Planet	الكوكبُ،
Spectra of Stars	طيوفُ النُّجوم

English	Arabic
Wave Displacement	الانزياحُ المَوجيّ
Expansion of the Universe	تمدُّدُ الكونِ
Escape Velocity	سرعةُ الإفلات
Schwarzschild Radius	نصفُ قطر شفارتزشيلد